

SANDRA MARA KREFTA

**AJUSTE DA DENSIDADE PARA POVOAMENTOS DE *Eucalyptus dunnii*
Maiden EM FUNÇÃO DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. André Felipe Hess

Co-orientador: Prof. Dr. Veraldo Liesenberg

Lages, SC

2017

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com
auxílio do programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC

Krefta, Sandra Mara
Ajuste da densidade para povoamentos de
Eucalyptus dunnii Maiden em função de índices
morfométricos. / Sandra Mara Krefta. - Lages ,
2017.
176 p.

Orientador: André Felipe Hess
Co-orientador: Veraldo Liesenberg
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado
de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Florestal, Lages, 2017.

1. Produção florestal. 2. Morfometria. 3.
Competição intraespecífica. 4. Varredura laser
terrestre. 5. Dendrograma de manejo da densidade.
I. Hess, André Felipe. II. Liesenberg, Veraldo. ,
.III. Universidade do Estado de Santa Catarina,
Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título.

SANDRA MARA KREFTA

**AJUSTE DA DENSIDADE PARA POVOAMENTOS DE *Eucalyptus dunnii*
Maiden EM FUNÇÃO DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS**

Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Mestre em Engenharia Florestal, Área de concentração: Produção Florestal.

Banca examinadora:

Orientador/presidente: Prof. Dr. André Felipe Hess
(UDESC/Lages-SC)

Membro externo: Prof^a. Dr.^a Veridiana Padoin Weber
(UTFPR/Dois Vizinhos-PR)

Membro interno: Prof. Dr. Geedre Borsoi
(UDESC/Lages-SC)

Lages, SC, 26 de outubro de 2017

*Aos meus pais, Albino e Janete e à minha irmã
Sandiane, por todo apoio e amor recebidos!*

Dedico...

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me abençoar e nunca me abandonar.

Aos meus pais, Albino e Janete, por servirem como inspiração e exemplo para que eu conseguisse percorrer essa caminhada, além de estarem, apesar da distância, sempre presentes em minha vida me amando incondicionalmente. Vocês são tudo para mim!

À minha irmã Sandiane por ser além de irmã, minha amiga confidente, meu porto seguro, e sempre estar do meu lado, indiferente do que aconteça. Meu amor por ti, é o maior do mundo!

Ao professor André Felipe Hess que assumiu esse projeto e conduziu-me com muita dedicação e carinho, confiança e empolgação, fazendo-me acreditar na realização e conclusão desta etapa.

Aos profissionais Emanuel Arnoni Costa, Geedre Adriano Borsoi e Veraldo Liesenberg pelas contribuições inestimáveis e considerações engrandecedoras.

A empresa Souza Cruz S/A., especialmente ao Omar Otto Stafin e sua equipe por terem acreditado neste projeto e dado todo apoio técnico para sua realização.

Ao João Guilherme do Nascimento que em tão pouco tempo tornou-se muito importante, incentivando-me nessa fase final com muito carinho, atenção, paciência e dedicação!

Aos meus fiéis amigos Aline, Danieli, Helen, João, Luisa, Mariane, Mayara e Renata que fazem meus dias melhores e sempre estão na torcida a cada realização. Agradeço em especial a Dani e a Li pela convivência, paciência, trocas de conselhos e amizade incondicional.

A equipe de coleta e processamento de dados Aline Germano, Amanda Lemos Miguel, Ana Silveira, Dailon Prochnow, Diego Vinchiguerra, Kemely Atanazio, Luan Galvani, Mariane Moura Andrade, Matheus Salomon e Mushue Dayan Hampel Filho. Graças a vocês o trabalho tornou-se muito mais alegre. Muito obrigada!

À Universidade do Estado de Santa Catarina e ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal pelo amparo durante o período do Mestrado.

À CAPES pelo apoio financeiro por meio de bolsa de estudos.

A todos que de forma direta ou indireta ajudaram a tornar possível mais esta conquista.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

KREFTA, Sandra Mara. **Ajuste da densidade para povoamentos de *Eucalyptus dunnii* Maiden em função de índices morfométricos.** 2017. 176 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2017.

Para que intervenções silviculturais sejam efetuadas em plantios homogêneos do gênero *Eucalyptus*, a dinâmica estrutural do povoamento, assim como índices morfométricos dos indivíduos e as relações entre esses devem ser conhecidas. Com base nisso, os objetivos do presente trabalho foram: determinar os índices morfométricos e ajustar modelos para as relações entre os mesmos; avaliar o nível de densidade dos povoamentos na obtenção de variáveis dendrométricas e morfométricas; construir um dendrograma de manejo da densidade para a espécie estudada e analisar a viabilidade das informações dendrométricas e morfométricas obtidas com o *laser scanner* terrestre. Para tanto, os dados foram coletados em plantios de *Eucalyptus dunnii* Maiden, em Rio Negrinho – SC com diferentes idades. Foram alocadas 47 parcelas de 400m², em povoamentos com idades de 2 a 4 anos, para o estudo com *laser scanner* terrestre foram empregadas 4 parcelas e inclusa a idade de 5 anos. As variáveis mensuradas foram: circunferência à altura do peito (CAP), altura total (*h*), altura de inserção de copa (*hic*) e raios de copa (*Rc*). Com o conjunto de dados foram calculados: diâmetro à altura do peito (DAP), comprimento de copa (*cc*), área de copa (*Ac*), percentual de copa (*PC%*), diâmetro de copa (*dc*), índice de abrangência (*IA*), índice de saliência (*IS*), grau de esbeltez (*GE*), formal de copa (*FC*) e número real de árvores/ha (*Nr*). Para as relações morfométricas obtiveram-se 51 correlações significativas e para 2 correlações (*IA* – *dc* e *PC* – *cc*) foram ajustados modelos para sua determinação, sendo caracterizados com distribuição gama e normal, e funções identidade e logarítmica. A análise de covariância demonstrou existir diferenças nas relações morfométricas avaliadas, assim como nas relações entre morfometria e densidade para cada idade estudada. Através das relações morfométricas e série cronológica percebeu-se que as árvores se encontram em concorrência por luz e espaço, principalmente no quarto ano, uma vez que foram encontrados valores para *GE* maiores que 100 em função da densidade e idade, demonstrando a instabilidade dos indivíduos estudados. Com base nisso, construiu-se um dendrograma de manejo de desbaste, a partir do qual foi possível propor um cenário para realização de um desbaste com 5,8 anos e aos 7 anos a realização da colheita, uma vez que com essa idade as árvores atingirão o diâmetro máximo permitido para sua finalidade. A comparação entre as médias das variáveis dendrométricas e morfométricas, pelos métodos de mensuração, com inventário tradicional e captado pela estação *laser*, apresentaram diferença significativa entre si. Sendo assim, devem ser realizados mais estudos com essa ferramenta tecnológica, visando a adequação metodológica de seu uso e melhorias no processamento de dados. Os resultados gerados neste trabalho possibilitam descrever a situação de competição a que o povoamento está submetido, assim como, apresentam soluções para essa problemática.

Palavras-chave: Produção florestal; Morfometria; Competição intraespecífica; Varredura *laser* terrestre; Dendrograma de manejo da densidade.

ABSTRACT

KREFTA, Sandra Mara. **Density adjustment for *Eucalyptus dunnii* Maiden stands due to morphometric indices.** 2017. 176 p. Dissertation (Master in Forest Engineering – Area: Forest Engineering) – Santa Catarina State University. Forestry Engineering Graduate Program, Lages, 2017.

For silvicultural interventions to be carried out in homogenous plantations of the genus *Eucalyptus*, the structural dynamics of the standstill, as well as morphometric indices of the individuals and the relationships between them should be known. Based on this, the objectives of the present study were: to determine the morphometric indexes and to fit models for the relationships between them; to evaluate the density level of stands in obtaining dendrometric and morphometric variables; to construct a dendrogram of density management for the studied species and to analyze the viability of the dendrometric and morphometric information obtained with the terrestrial laser scanner. For that, the data were collected in plantations of *Eucalyptus dunnii* Maiden, in Rio Negrinho - SC with different ages. A total of 47 plots of 400 m² were allocated to settlements with ages ranging from 2 to 4 years, 4 plots were used for the study with laser scanner terrestrial and included the age of 5 years. The variables measured were: chest circumference (*CAP*), total height (*h*), crown insertion height (*hic*) and crown radius (*rc*). With the data set were: diameter at breast height (*DAP*), crown length (*cc*), crown area (*Ac*), crown percentage (*PC%*), crown diameter (*dc*), breadth index (*IA*), salinity index (*IS*), degree of slenderness (*GE*), formal crown (*FC*) and actual number of trees / ha (*Nr*). For the morphometric relationships, 51 significant correlations were obtained, and for 2 correlations (*IA-dc* and *PC-cc*), models were adjusted for their determination, being characterized with gamma and normal distribution, and identity and logarithmic functions. The covariance analysis showed that there were differences in the morphometric relationships evaluated, as well as in the relationships between morphometry and density for each age studied. Through the morphometric relationships and chronological series it was observed that the trees are in competition for light and space, especially in the fourth year, since values for *GE* were higher than 100 according to the density and age, demonstrating the instability of the individuals studied. Based on this, a dendrogram of thinning management was constructed, from which it was possible to propose a scenario to perform a thinning with 5.8 years and at 7 years the harvesting, since at that age the trees shall reach the maximum diameter allowed for their purpose. The comparison between the means of the dendrometric and morphometric variables, by the methods of measurement, with traditional inventory and captured by the laser station, presented a significant difference between them. Therefore, more studies should be carried out with this technological tool, aiming at the methodological adequacy of its use and improvements in data processing. The results generated in this work make it possible to describe the competitive situation to which the stands are submitted, as well as, present solutions to this problem.

Keywords: Forest production; Morphometry; Intraspecific competition; Terrestrial laser scanning; Density management diagram.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 – REVISÃO DE LITERATURA

- Figura 1: Dendrograma de manejo de densidade para Araucaria angustifolia, em Santa Catarina 48

CAPÍTULO 2 – RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS PARA *Eucalyptus dunnii* Maiden EM RIO NEGRINHO / SC

- Figura 1: Parcelas em florestas plantadas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. em Rio Negrinho, SC (2017).....64
- Figura 2 - Representação da altura total (h), de inserção de copa (hc), comprimento de copa (cc), e diâmetro de copa da árvore (dc)..... 67
- Figura 3 - (A) - Método para obtenção dos quatro raios de copa; (B) - raios (r1, r2, r3 e r4) da projeção de copa obedecendo a orientação norte-leste-sul-oeste. 68
- Figura 4 - Dispersão dos valores observados sobre a reta ajustada pelo modelo das relações entre: h e DAP (A); dc e DAP (B) e cc e DAP (C), para as idades de 2 ($i2$), 3 ($i3$) e 4 ($i4$) anos de povoamentos de *E. dunnii*, Rio Negrinho, SC, 2017.....80
- Figura 5 - Dispersão dos resíduos para as relações entre: h e DAP (A); dc e DAP (B) e cc e DAP (C), para as idades de 2 ($i2$), 3 ($i3$) e 4 ($i4$) anos de povoamentos de *E. dunnii*, Rio Negrinho, SC, 2017.....82
- Figura 6 - Dispersão dos valores observados sobre a reta ajustada pelo modelo das relações entre: índice de abrangência e diâmetro de copa (A) e proporção de copa e comprimento de copa (B), para as idades de 2 ($i2$), 3 ($i3$) e 4 ($i4$) anos de povoamentos de *E. dunnii*..... 88

CAPÍTULO 3 - MODELAGEM DE RELAÇÕES FORMA-DIMENSÃO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE E IDADE PARA *Eucalyptus dunnii* Maiden EM RIO NEGRINHO / SC

- Figura 1: Parcelas em florestas plantadas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. em Rio Negrinho, SC (2017). 102
- Figura 2- (A) - Método para obtenção dos quatro raios de copa; (B) - raios (r1, r2, r3 e r4) da projeção de copa obedecendo à orientação norte-leste-sul-oeste. 105

Figura 3 - Distribuição dos resíduos para o MLG da relação entre o grau de esbeltez com diâmetro à altura do peito e idade de povoamentos de <i>E. dunnii</i> , Rio Negrinho, SC.....	110
Figura 4 - Série cronológica para grau de esbeltez (GE) de povoamentos de <i>E. dunnii</i> , Rio Negrinho, SC.....	111
Figura 5 - Relações morfométricas e sua interação com o número de árvores por hectare para as idades de 2 (<i>i2</i>), 3 (<i>i3</i>) e 4 (<i>i4</i>) anos de povoamentos de <i>E. dunnii</i> , Rio Negrinho, SC.....	114

CAPÍTULO 4 - DENDROGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE DE *Eucalyptus dunnii* Maiden EM RIO NEGRINHO / SC

Figura 1: Parcelas em florestas plantadas de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden. em Rio Negrinho, SC (2017).	126
Figura 2 - Ajuste do modelo de Reineke (1933) para descrever o ln (<i>Nr/ha</i>) em função do ln (<i>dg</i>) para <i>E. dunnii</i> em Rio Negrinho, SC.....	132
Figura 3 - Dendrograma de manejo de densidade da área basal (<i>G/ha</i>) relacionado com o número de árvores (<i>Nr/ha</i>) por hectare e diâmetro da árvore de área basal média (<i>dg</i>) para um povoamento de <i>E. dunnii</i> em Rio Negrinho – SC.....	133
Figura 4 - Simulação 1 de desbaste no dendrograma de manejo da densidade da área basal (<i>G/ha</i>) relacionado com o número de árvores por hectare (<i>Nr/ha</i>) e diâmetro da árvore de área basal média (<i>dg</i>), para um povoamento de <i>E. dunnii</i> em Rio Negrinho – SC.....	135
Figura 5 - Simulação 2 de desbaste no dendrograma de manejo da densidade da área basal (<i>G/ha</i>) relacionado com o número de árvores por hectare (<i>Nr/ha</i>) e diâmetro da árvore de área basal média (<i>dg</i>), para um povoamento de <i>E. dunnii</i> em Rio Negrinho – SC.....	137

CAPÍTULO 5 - COMPARAÇÃO ENTRE DADOS OBTIDOS COM INVENTÁRIO CONVENCIONAL E COM LASER SCANNER TERRESTRE PARA *Eucalyptus dunnii* Maiden EM RIO NEGRINHO / SC

Figura 1: Parcelas em florestas plantadas de <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden. em Rio Negrinho, SC (2017).	146
Figura 2 - Fluxograma do estudo.	149
Figura 3 - Representação da altura total (<i>h</i>), de inserção de copa (<i>hc</i>), comprimento de copa (<i>cc</i>), e diâmetro de copa da árvore (<i>dc</i>).	151

Figura 4 - (A) - Método para obtenção dos quatro raios de copa; (B) - raios (r1, r2, r3 e r4) da projeção de copa obedecendo à orientação norte-leste-sul-oeste.....	152
Figura 5 - Equipamento FARO FOCUS 3D S120.....	153
Figura 6 - Representação da visada de campo do <i>laser scanner</i> terrestre.....	154
Figura 7 - Posicionamentos do equipamento utilizado para varredura em cada unidade amostral.....	155
Figura 8 - Alvos alocados para o registro da nuvem de pontos.....	155
Figura 9 - Imagem gerada pela nuvem de pontos captada com a estação <i>laser</i>	156
Figura 10 - Processo para isolamento de árvores na nuvem de pontos, (A) recorte da área correspondente a parcela; (B) alinhamento da parcela; (C) isolamento das linhas da parcelas e (D) isolamento e mensuração de cada indivíduo.....	157
Figura 11 - Ajuste da altura total em função do diâmetro à altura do peito dos modelos selecionados para <i>E. dunnii</i> , para medidas obtidas por inventário convencional a campo e pela estação laser para as idades de 2,3,4 e 5 anos.....	164
Figura 12 - Ajuste da linha de regressão do diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito dos modelos selecionados para <i>E. dunnii</i> , para medidas obtidas por inventário convencional a campo e pela estação laser para as idades de 2,3,4 e 5 anos.....	167

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2 – RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS PARA *Eucalyptus dunnii* Maiden EM RIO NEGRINHO / SC

Tabela 1 - Número de unidades amostrais coletadas em cada idade, e total de unidades. Rio Negrinho, SC.....	66
Tabela 2 - Variáveis dendrométricas e morfométricas para <i>E. dunnii</i> para diferentes idades em Rio Negrinho, SC	74
Tabela 3 - Análise de covariância para altura total, diâmetro de copa e comprimento de copa em função do diâmetro à altura do peito em Rio Negrinho, SC.	78
Tabela 4 - Valores dos ajustes de MLG para as relações altura total, diâmetro de copa e comprimento de copa em função do diâmetro à altura do peito para <i>E. dunnii</i> . Rio Negrinho, SC.....	79
Tabela 5 - Correlação de Pearson e probabilidades para as variáveis dendrométricas e morfométricas de <i>E. dunnii</i> , Rio Negrinho, SC.	84
Tabela 6 - Análise de covariância das diferentes relações morfométricas para <i>E. dunnii</i> em Rio Negrinho, SC.	86
Tabela 7 - Valores dos ajustes de MLG das diferentes relações morfométricas para <i>E. dunnii</i> em Rio Negrinho, SC.	86

CAPÍTULO 3 - MODELAGEM DE RELAÇÕES FORMA-DIMENSÃO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE E IDADE PARA *Eucalyptus dunnii* Maiden EM RIO NEGRINHO / SC

Tabela 1 - Número de unidades amostrais coletadas em cada idade, e total de unidades. Rio Negrinho, 2017.....	104
Tabela 2 - Análise de covariância das relações entre <i>dc- Nr</i> e <i>GE – Nr</i> para <i>E. dunnii</i> em Rio Negrinho, SC.	113
Tabela 3 - Valores dos ajustes de MLG relações entre <i>dc- Nr</i> e <i>GE – Nr</i> para <i>E. dunnii</i> em Rio Negrinho, SC.	113

CAPÍTULO 4 - DENDROGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE DE *Eucalyptus dunnii* Maiden EM RIO NEGRINHO / SC

Tabela 1 - Número de unidades amostrais coletadas em cada idade, e total de unidades. Rio Negrinho, 2017.....	128
Tabela 2 - Resumo estatístico das características das árvores amostradas de <i>E. dunnii</i> em Rio Negrinho, SC.	131
Tabela 3 - Simulação 1 da execução de desbastes de <i>E. dunnii</i> , em Rio Negrinho, SC.	134
Tabela 4 - Simulação 2 da execução de desbastes de <i>E. dunnii</i> , em Rio Negrinho, SC.	136

CAPÍTULO 5 - COMPARAÇÃO ENTRE DADOS OBTIDOS COM INVENTÁRIO CONVENCIONAL E COM LASER SCANNER TERRESTRE PARA *Eucalyptus dunnii* Maiden EM RIO NEGRINHO / SC

Tabela 1 - Comparaçao entre as mensurações a campo e com dados TLS das variáveis dendrométricas e morfométricas para indivíduos de <i>E. dunnii</i> em Rio Negrinho, SC....	160
Tabela 2 - Ajuste de modelos hipsométricos para medidas levantadas a campo e medidas TLS de <i>E. dunnii</i> em Rio Negrinho, SC.	163
Tabela 3 - Ajuste de modelos para diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito para medidas levantadas a campo e medidas TLS de <i>E. dunnii</i> em Rio Negrinho, SC....	166

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ac	Área de copa
AIC	Critério de Informação de Akaike
BIC	Critério de Informação Bayesiano
CAV	Centro de Ciências Agroveterinárias
cc	Comprimento de copa
cm	Centímetros
CV	Coeficiente de variação
D	Função desvio
DAP	Diâmetro à altura do peito
dc	Diâmetro de copa
DMD	Dendrograma de Manejo da Densidade
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária
Est.	Valores estimados
F	Valor de F calculado
Fc	Formal de copa
GE	Grau de Esbeltez
h	Altura total
ha	Hectare
Hic	Altura de inserção de copa
i	Idade
IA	Índice de Abrangência
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPAd	Incremento periódico anual diamétrico
IS	Índice de Saliência
L	Leste
m	Metros
MLG	Modelos Lineares Generalizados
N	Norte
Nr	Número real de árvores/hectare
O	Oeste
Obs.	Valores observados

PC%	Porcentagem de copa
R ² aj	Coeficiente de determinação ajustado
rc	Raio de copa
S	Sul
SAS	<i>Statistical Analysis System</i>
SC	Santa Catarina
TLS	<i>Terrestrial Laser Scanner</i>
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
CAPÍTULO 1 - REVISÃO DE LITERATURA	42
1.1 INTRODUÇÃO	42
1.2 <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden.....	43
1.3 MORFOMETRIA DAS COPAS DAS ÁRVORES.....	44
1.4 EFEITO DA DENSIDADE SOBRE O PovoAMENTO.....	46
1.5 DENDROGRAMAS DE MANEJO DA DENSIDADE (DMD).....	47
1.6 MODELAGEM MATEMÁTICA.....	49
1.7 LASER SCANNER TERRESTRE.....	51
1.8 CONCLUSÕES.....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
CAPÍTULO 2 - RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS PARA <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden EM RIO NEGRINHO / SC	60
RESUMO	60
ABSTRACT	61
2.1 INTRODUÇÃO	62
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	63
2.2.1 Caracterização da área de estudo	63
2.2.2 Instalação de Unidades Amostrais	66
2.2.3 Obtenção das variáveis morfométricas e dendrométricas.....	66
2.2.4 Análise de dados	70
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
2.3.1 Variáveis dendrométricas e morfométricas	72
2.3.2 Covariância e ajustes de equações em função do diâmetro à altura do peito.....	77
2.3.3 Relações interdimensionais.....	84
2.3.4 Análise de covariância e ajustes de equações de relações morfométricas	85
2.4 CONCLUSÕES.....	89

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
CAPÍTULO 3- MODELAGEM DE RELAÇÕES FORMA-DIMENSÃO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE E IDADE PARA <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden EM RIO NEGRINHO / SC	98
RESUMO	98
ABSTRACT	99
3.1 INTRODUÇÃO	100
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	101
3.2.1 Caracterização da área de estudo	101
3.2.2 Instalação de Unidades Amostrais.....	104
3.2.3 Obtenção das variáveis morfométricas e dendrométricas.....	105
3.2.4 Análise de dados	106
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	108
3.3.1 Série cronológica de grau de esbeltez	108
3.3.2 Modelagem de relações forma-dimensão em função da densidade	112
3.4 CONCLUSÕES.....	115
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
CAPÍTULO 4 - DENDROGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE DE <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden EM RIO NEGRINHO / SC	122
RESUMO	122
ABSTRACT	123
4.1 INTRODUÇÃO	124
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	125
4.2.1 Caracterização da área de estudo	125
4.2.2 Instalação de Unidades Amostrais.....	128
4.2.3 Construção do dendrograma de manejo da densidade.....	129
4.2.4 Análise de dados	131
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	131
4.3.1 Características das árvores amostradas.....	131
4.3.2 Determinação da linha A	131
4.3.3 Dendrograma de Manejo de Densidade	132

4.3.4 Simulação de desbastes com o Diagrama de Manejo da Densidade	134
4.4 CONCLUSÕES	137
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138
CAPÍTULO 5 - COMPARAÇÃO ENTRE DADOS OBTIDOS COM INVENTÁRIO CONVENCIONAL E COM LASER SCANNER TERRESTRE PARA <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden EM RIO NEGRINHO / SC	142
RESUMO	142
ABSTRACT	143
5.1 INTRODUÇÃO	144
5.2 MATERIAL E MÉTODOS	145
5.2.1 Caracterização da área de estudo	145
5.2.2 Planejamento e execução do estudo	148
5.2.3 Instalação das unidades amostrais	150
5.2.4 Coleta dos dados dendrométricos e morfométricos	150
5.2.5 Coleta de dados por Varredura <i>Laser Scanner Terrestre (TLS)</i>	153
5.2.6 Processamento da nuvem de pontos	156
5.2.7 Ajuste de modelos hipsométricos e para diâmetro de copa	158
5.2.8 Análise de dados	159
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	159
5.3.1 Variáveis dendrométricas e morfométricas	159
5.3.2 Ajuste de modelos hipsométricos para dados coletados em campo e pelo <i>laser</i>	163
5.3.3 Ajuste de modelos para diâmetro de copa de dados coletados em campo e pela estação <i>laser</i>	166
5.4 CONCLUSÕES	169
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	170
CONSIDERAÇÕES FINAIS	176

INTRODUÇÃO GERAL

O gênero *Eucalyptus* tem contribuição significativa na economia brasileira, pois é a base de muitas empresas e também auxilia na renda de propriedades familiares. Seu crescimento em área plantada nos últimos anos mostra, de maneira direta, que o uso de produtos e subprodutos, advindos de plantios comerciais desse gênero, tem ganhado o mercado de maneira considerável (COSTA et al., 2013; BORA et al., 2016).

No entanto, uma produção satisfatória depende da elaboração de planos de manejo adequados, os quais necessitam de conhecimento sobre a dinâmica de crescimento e a interação entre indivíduos no povoamento (THOMAS, 2009). Nesse sentido, conhecer tanto dendrometricamente como morfometricamente a espécie de interesse torna-se essencial. Através desse conhecimento, técnicas para aumento da produtividade aliada a qualidade, podem ser desenvolvidas, e consequentemente os produtos obtidos no final dos ciclos de produção serão melhorados.

De acordo com Selle et al., (2010) o uso e a interpretação das relações morfométricas permite a construção de prognósticos de condições futuras para um povoamento. Nesse contexto, destaca-se o desenvolvimento de ferramentas que auxiliam no manejo e condução de plantios florestais. Dentre as ferramentas de condução de um povoamento, as que almejam a densidade adequada de árvores por hectare tem grande importância, pois conseguem desenvolver um plantio, aumentando a produção e rentabilidade do mesmo.

A densidade adequada é aquela em que o povoamento atende de maneira satisfatória seu objetivo final. Para tanto, deve-se obter o máximo que o sítio pode oferecer sem causar prejuízos ao ambiente, e sem que apareçam problemas de competição, por espaço, luz ou nutrientes (MEYER et al., 2013).

Segundo Possato (2014) a avaliação do comportamento das plantas em relação a sua densidade por unidade de área, pode ser feita de diversas maneiras, entre as quais ganha destaque a análise da dinâmica morfométrica das árvores. Essa análise auxilia no entendimento de como o povoamento se desenvolve, qual o espaço necessário para cada árvore crescer, determinação do índice de mortalidade, dentre outros aspectos relacionados ao interesse do manejador para posterior determinação das intervenções silviculturais.

O uso de critérios técnicos, no manejo de florestas plantadas, pode ser fundamentado por índices de densidade. Esses índices consistem na combinação entre as dimensões dos indivíduos e o número de árvores existentes em um povoamento. Uma maneira prática de

usar esses índices, está na confecção de dendrogramas de manejo de densidade de um povoamento (*DMD*) (LONG, 1985).

O *DMD* descreve, graficamente, a relação existente entre área basal, número de árvores por hectare e o diâmetro da árvore de área basal média. O uso do *DMD* permite, além de monitorar o povoamento quanto à sua densidade, a orientação sobre intervenções de desbaste de maneira fácil e rápida, maximizando a utilização do sítio mediante um controle adequado dos níveis da competição (THOMAS, 2009). Além disso, é possível comparar os fluxos de desenvolvimento do povoamento para diversas densidades estabelecidas, bem como regimes de desbaste de um determinado sítio (ROGERS, 1983).

Apesar de existirem estudos sobre desbaste e comportamento morfométrico de espécies exóticas, a área florestal ainda carece de informações sobre a relação existente entre essas duas temáticas. Evidencia-se ainda, que a maioria dos desbastes realizados em *Eucalyptus* spp. são baseados em técnicas empregadas em *Pinus* spp. ou em espécies nativas de longo ciclo de produção. Isso resulta em equívocos que afetam a densidade adequada, peso de desbaste, rentabilidade, entre outros fatores (LEITE et al., 2004).

Sendo assim, pesquisas direcionadas à *Eucalyptus* spp. devem prever a coleta de informações por meio inventários florestais de maneira cautelosa para que erros sejam minimizados, e suas estimativas com posterior indicativos de manejo tenham sucesso.

Nesse sentido, Oliveira et al. (2014) destacaram que a crescente necessidade de aprimorar as estimativas de inventários florestais tem motivado estudos com dados de sensoriamento remoto. Portanto, o emprego geotecnológico na área florestal é tido como um auxílio à quantificação volumétrica e também na tomada de decisão para execução de intervenções silviculturais.

Várias ferramentas vêm sendo testadas para constatação da viabilidade de suas técnicas de uso, ou seja, se o emprego das mesmas é apropriado e serve como suporte ao planejamento do manejo florestal (PEINHOPF, 2012). Dentre essas ferramentas, destaca-se o *laser scanner* terrestre (*TLS*), que é caracterizado como um equipamento capaz de facilitar a aquisição de dados, assim como a interpretação dos mesmos, em um pequeno intervalo de tempo (LICHTI et al., 2002).

O *TLS* se apresenta como uma ferramenta promissora, uma vez que o processamento de sua nuvem de pontos em ambiente computacional permite a obtenção de variáveis dendrométricas e a geração de um modelo tridimensional do tronco da árvore. Isso possibilita a aquisição de diâmetros em diferentes alturas, arquitetura de copa, ângulo de

ramos, qualidade externa do fuste, reconstrução da estrutura da árvore, estimativa da área foliar, quantidade de biomassa e estudos de volumetria sem empregar métodos destrutivos (DASSOT et al., 2011; BUCK, 2012).

No entanto, a realização de novas pesquisas com *laser scanner* terrestre são indispensáveis. Pelo fato dessa ser uma nova tecnologia, diversos métodos da mesma ainda são passíveis de erros, precisando serem revistos e analisados para as mais variadas particularidades de ambientes florestais (MARTINS NETO et al., 2013; KLEIN, 2017).

As hipóteses levantadas para responder o problema de pesquisa foram:

- i. É possível descrever através da modelagem a densidade adequada de *Eucalyptus dunnii* em função dos índices morfométricos;
- ii. Para as diferentes idades, existem variações no comportamento dendrométrico e morfométrico de *Eucalyptus dunnii*, assim como nas relações dessas variáveis;
- iii. Pode-se utilizar o *laser scanner* como uma técnica para descrever as mudanças morfométricas e dendrométricas com o passar do tempo.

O presente estudo teve como objetivo geral realizar o ajuste do número de árvores por hectare de *Eucalyptus dunnii* Maiden. em função dos índices morfométricos, para diferentes idades. Assim como, verificar a utilização de dados TLS na caracterização da espécie. Como objetivos específicos tiveram-se os seguintes:

1. Determinar os índices morfométricos e ajustar modelos para as relações entre os mesmos;
2. Avaliar o nível de densidade dos povoamentos na obtenção de variáveis dendrométricas e morfométricas;
3. Construir um dendrograma de manejo da densidade para a espécie estudada;
4. Analisar a viabilidade das informações dendrométricas e morfométricas obtidas com o *laser scanner* terrestre.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BORA, K.C.; BRITO, G.S.; AUER, C.G.; SANTOS, A.F DOS.; WREGE, M. S. Favorabilidade climática para a ferrugem do eucalipto no estado do Paraná. **Summa Phytopathologica**, v.42, n.1, p.24-42, 2016.
- BUCK, A. L. B. **Análise de métodos de filtragem em dados laser scanner terrestre aplicados à modelagem tridimensional do tronco de *Pinus spp.*** 2012. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Departamento de Ciências Florestais, UFPR, Curitiba, 2012.
- COSTA, C. C.; GUILHOTO, J. J. M.; IMORI, D. Importância dos setores agroindustriais na geração de renda e emprego para a economia brasileira. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. Brasília, v. 51, n.4, p. 797-914, 2013.
- DASSOT, M.; CONSTANT, T.; FOURNIER, M. The use of terrestrial LiDAR technology in forest science: application fields, benefits and challenges. **Annals Forest Science**. v. 68, p. 959–974, 2011.
- KLEIN, D. R. **Morfometria e crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no Planalto Sul Catarinense**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). 122f. Universidade do Estado de Santa Catarina. 2017.
- LEITE, H.G.; NOGUEIRA, G.S.; DIAS, A.N. Desbastes e seus efeitos sobre a produção e a qualidade de povoados florestais. In: SEMINÁRIO SOBRE SILVICULTURA EM FLORESTAS PLANTADAS, 1., 2004, Vitória. **Anais...** Viçosa: UFV, 2004. p.165-195.
- LICHTI, D. D.; GORDON, S.; STEWART, M. Ground-based laser scanners: operation, systems applications. **Geomática**, v. 56, p. 21-33, 2002.
- LONG, J. N. A practical approach to density management. **Forestry Chronicle**, Ottawa, v. 61, n. 1, p. 23–27, 1985.
- MARTINS NETO, R. P.; BUCK, A. L. B.; SILVA, M. N.; LINGNAU, C.; MACHADO, A. M. L.; PESCK, V. A. Avaliação da varredura LASER terrestre em diferentes distâncias da árvore para mensurar variáveis dendrométricas. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 19, n. 3, p. 420 – 433, 2013.

MEYER, E. A.; FLEIG, F. D.; PEREIRA, L. D.; VUADEN, E. Ajuste do modelo de Reineke para estimativa da linha de máxima densidade na Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**. Viçosa, n.4, p. 669-678, 2013.

OLIVEIRA, T. C. A.; SILVEIRA, E. M. O.; ACERBI JUNIOR, F. W. Determinação do volume de madeira em povoamento de eucalipto por escâner a laser aerotransportado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. V.49, n.9, p. 692-699. 2014.

PEINHOPF, C. **Determinação de variáveis dendrométricas de *Eucalyptus urograndis* com dados LiDAR Aerotransportado**. 2012. 55f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Estadual do Centro – Oeste. Irati. 2012.

POSSATO, E. L. **Manejo da densidade em povoamentos de eucalipto**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). 111f. Universidade Federal de Lavras. 2014.

ROGERS, R. Guides for thinning shortleaf pine. **Forest Service**, p. 217-225, 1983.

SELLE, G. L., VUADEN, E., BRAZ, E. M., CUNHA, T. A. D. Uso do dendrograma de manejo de densidade: uma aplicacão prática com *Hovenia dulcis* Thunberg. **Scientia Forestalis.**, v. 38, n. 86, p. 247-254, 2010.

THOMAS, C. **Dendrograma de manejo da densidade para povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm na Região Central do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). 62 f. Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

CAPÍTULO 1

REVISÃO DE LITERATURA

1.1 INTRODUÇÃO

Ao se trabalhar com o gênero *Eucalyptus*, deve-se ter ciência de seu amplo desenvolvimento nos últimos anos. Em função disso, são necessários estudos para que a melhoria de seu cultivo e manejo seja promovida.

Poucos ainda são os trabalhos que tratam do manejo do *Eucalyptus* levando em consideração suas características morfométricas, sendo que dados de forma e dimensão, tem grande relevância para o inventário e determinação de intervenções silviculturais em plantios homogêneos.

Através de dados referentes a dendrometria e morfometria das árvores, podem ser feitas inferências sobre o grau de competição de um povoamento, assim como, sugestões para condução do mesmo. O uso dessas informações de maneira efetiva, é dependente de modelos matemáticos, tanto na construção de relações entre as variáveis dendrométricas e morfométricas, como também na determinação de metodologias de manejo florestal.

Entre as ferramentas utilizadas para determinação de práticas silviculturais destaca-se o emprego de dendrogramas de manejo de densidade. Os dendrogramas são representações gráficas que auxiliam a promover a execução de desbastes, com peso adequado, de acordo com o grau de concorrência de determinado povoamento.

Portanto o conhecimento referente a forma e dimensão das árvores torna-se imprescindível, para execução de interferências e determinação de técnicas de manejo de uma floresta homogênea. Referente à isso, a varredura *laser* terrestre tem ganhado espaço na área florestal, permitindo a representação da floresta, de maneira a detectar sua estrutura.

Com base nesses pressupostos, esse capítulo teve como objetivo fazer o levantamento de informações referentes as problemáticas levantadas na presente dissertação através de uma revisão bibliográfica.

1.2 *Eucalyptus dunnii* Maiden

O cultivo florestal no Brasil tem aumentado devido à diversificação do uso das espécies florestais e pela facilidade de adaptação às diferentes condições edafoclimáticas que as mesmas encontram no território brasileiro (PREVEDELLO et al., 2013). Em disso no ano de 2016, 7,8 milhões de hectares eram ocupados por povoamentos florestais homogêneos. Sendo que aproximadamente 5,6 milhões de ha correspondiam a plantios de espécies do gênero *Eucalyptus*, ou seja, 71,8% do total, evidenciando a importância desse gênero para o segmento florestal (IBÁ, 2016).

O *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae e é nativo da Oceania (MORA e GARCIA, 2000), com maior ocorrência na Austrália, onde recobre cerca de 90% da área florestal do país. Já foram identificadas mais de 670 espécies do gênero *Eucalyptus*, além de existir elevado número de variedades e híbridos (VITAL, 2007).

No Brasil este gênero foi introduzido em 1904 com o objetivo de suprir as necessidades de lenha, postes e dormentes das estradas de ferro na região Sudeste do país (DOSSA et al., 2002). Evidencia-se que esse gênero é a principal matéria-prima florestal entre as folhosas, possuindo a maior diversidade de processamento no mercado (TREVISAN et al., 2007).

De acordo com Wink (2009) o *Eucalyptus* tem se destacado por possuir um rápido crescimento, alta produtividade, grande capacidade de adaptação e principalmente por ter aplicações em diferentes setores. Dentre os setores, pode-se citar: energia, construção civil, movelearia, chapas de fibra, celulose, extractivos, e em áreas rurais empregado na produção de mourões e postes para energia elétrica. Além disso, o gênero consegue desempenhar funções indiretas, como geração de sombra para conforto térmico animal, em sistemas agroflorestais.

O uso energético é o que mais se destaca, dentre as utilidades do *Eucalyptus*. Isso ocorre, pois, poucos combustíveis conseguem competir com a madeira desse gênero tanto em relação aos aspectos econômicos e também ambientais, uma vez que essa é classificada como um recurso renovável (MORAIS, 2006).

Dentre as espécies do gênero, o *Eucalyptus dunnii* Maiden é cultivado no Sul do país, e quando adulto pode atingir 50 m de altura e 1 a 1,5 m de diâmetro à altura do peito (DAP), com fuste limpo de 30 a 35 m, sendo originário da região Nordeste de New South Wales e Sudeste de Queensland (EMBRAPA, 1988). Conforme Schneider et al. (1997) essa espécie

foi introduzida no Brasil em função do seu bom desenvolvimento em volume e altura. Resultado encontrado para regiões com ocorrência regular de chuva no verão, onde o *E. dunnii* também apresenta resistência ao frio. Segundo Braz et al. (2014) a espécie tem se destacado nos seguintes usos: celulose; fins estruturais como assoalho, carroceria, cabos de ferramenta, etc.; painéis e uso energético.

Em virtude das tantas vantagens apresentadas ao se trabalhar com a cultura do *Eucalyptus*, nota-se que é necessário estudo contínuo em prol de melhorias para o setor, referente a novos materiais genéticos, tecnologias, manejo, entre outros. Para tanto, deve ser realizada a execução de novas pesquisas para quem acredita e investe no setor de florestas plantadas sentir-se cada vez mais satisfeito (PEREIRA, 2016).

1.3 MORFOMETRIA DAS COPAS DAS ÁRVORES

Desde a introdução comercial do gênero *Eucalyptus* no Brasil, por Edmundo Navarro de Andrade, no início do século XX, inúmeros estudos com o gênero são realizados (GONÇALVES et al., 2014). No entanto, ainda são poucas as pesquisas relacionadas a sua morfometria, através da qual muitas informações sobre o desenvolvimento de um povoamento são obtidas e podem auxiliar na tomada de decisões sobre a condução do mesmo (COSTA, 2011).

As características dimensionais mais comuns utilizadas são o diâmetro à altura do peito, altura total, área basal, altura do fuste e volume. Entretanto, o estudo mais direcionado para as relações morfométricas da copa é de extrema relevância, sendo que por meio desse, informações sobre a capacidade de crescimento são obtidas (WADSWORTH, 2000).

Orellana e Koehler (2008) destacaram que algumas características dimensionais menos conhecidas, mas muito importantes para a determinação morfométrica da copa são: proporção de copa (*PC*), índice de saliência (*IS*), índice de abrangência (*IA*), formal de copa (*FC*) e Grau de Esbeltez (*GE*). Essas variáveis podem ser facilmente correlacionadas com o diâmetro à altura do peito, que é de fácil obtenção a campo, e pode ser utilizado como variável independente em equações de regressão.

Segundo os mesmos autores a proporção de copa é definida como a relação entre o comprimento de copa e a altura total da árvore, sendo expressa em porcentagem, e quanto maior seu valor melhor a qualidade e vitalidade da copa.

O índice de saliência determinado através da razão entre o diâmetro da copa e o diâmetro à altura do peito, indica quantas vezes a copa é maior que o diâmetro. Este índice é importante para inferências de desbaste, pois através desta correlação determina-se o espaço necessário para uma planta se desenvolver. Já o índice de abrangência resulta da relação entre o diâmetro de copa e a altura total da árvore. Caso ocorra uma alta correlação entre estas variáveis, ele também pode ser utilizado para avaliação de desbaste (DURLO e DENARDI, 1998).

O grau de esbeltez caracteriza a estabilidade das árvores, e é determinado pela razão da altura total pelo diâmetro à altura do peito. Quando obtida uma alta relação, mais instável é a árvore, ou seja, é alta e fina. Do contrário, quanto menor a relação mais estável é a árvore (COSTA, 2011).

Orellana e Koehler (2008) definiram formal de copa como sendo a relação entre o diâmetro de copa e o comprimento da copa. Quanto menor o valor encontrado, mais esbelta e maior é a capacidade produtiva da árvore, por outro lado, valores altos indicam copas achatadas.

Santos et al. (2014) ao estudar os parâmetros interdimensionais de clones de *Eucalyptus*, perceberam que a determinação de variáveis morfométricas é imprescindível para o conhecimento da dinâmica do desenvolvimento da espécie, auxiliando a definir diretrizes corretas de manejo.

Com o objetivo de definir diretrizes para o desbaste de *Pinus taeda* L. Padoin (2007), levou em consideração as relações entre os principais índices morfométricos da copa e o crescimento em diâmetro e altura. Com esse trabalho a autora comprovou a importância da análise morfométrica na determinação da densidade ideal para os povoamentos florestais.

Assim, nota-se que o conjunto dessas informações morfométricas aliadas às técnicas silviculturais de um povoamento florestal, devem ser utilizadas para auxiliar na obtenção de uma produção de ótima qualidade (DURLO et al. 2004). Ressalta-se ainda, a necessidade de se verificar, como o comportamento dessas relações morfométricas, afeta a densidade de povoamentos em diferentes fases de desenvolvimento, para que estratégias de maximização da produção sejam definidas.

1.4 EFEITO DA DENSIDADE SOBRE O POVOAMENTO

A produção de uma floresta é determinada pela quantidade de radiação solar interceptada pela copa e pela eficiência de conversão da radiação em biomassa. Essa eficiência é influenciada pela disponibilidade de espaço, água e nutrientes. Aumentando o suprimento destes recursos além do ponto de deficiência, tende-se a aumentar a produção que é fortemente influenciada pelas interações entre os indivíduos arbóreos até que seja atingido um nível adequado de desenvolvimento dos mesmos (SANTANA et al., 2008).

De acordo com Schneider e Schneider (2008) a densidade de um povoamento é caracterizada como o grau de aproveitamento do solo, água, luz, nutrientes e CO₂ pelas árvores. Essa densidade pode ser representada de diversas maneiras: área basal, volume, número de árvores e/ou superfície das copas por unidade de área.

Para Selle (2009) a densidade adequada está intimamente relacionada com a idade, sítio e objetivo final de um plantio florestal. Portanto, sempre deve-se atentar para a taxa de crescimento das árvores. Sendo que a velocidade de desenvolvimento é controlada pelo grau de ocupação do espaço físico, o qual é afetado pela área das copas e sistema radicular.

Kramer e Kozlowski (1972) ressaltaram que o arranjo das árvores dentro de um povoamento determina a sua sobrevivência, uma vez que isso está diretamente ligado com a densidade do mesmo. Para Chies (2005) o estudo do melhor número de árvores por área, para que ocorra um bom aproveitamento do sítio, tem grande utilidade e interesse nos resultados para sortimento, taxa de mortalidade, manejo, colheita, entre outros.

Em densidades altas, o número exagerado de árvores torna a quantidade disponível de nutrientes, água e luz insuficiente para alguns indivíduos. Como consequência tem-se a mortalidade desses indivíduos, processo denominado de autodesbaste. No entanto, quando a densidade é baixa, os nutrientes, água e radiação disponíveis no local não são aproveitados ao máximo, o que também pode resultar em uma produção insatisfatória por área (MONTEIRO e CORDEIRO, 1993; SCHNEIDER e SCHNEIDER, 2008).

Para verificar a competição em um povoamento deve-se observar o seu comportamento através de medições e índices de competição. A concorrência afeta a posição sociológica que uma determinada árvore ocupará no povoamento é definida. Tão logo se inicia essa concorrência, tem-se o fechamento do espaço aéreo pelas copas, dando-se início à diferenciação entre as classes sociológicas. Com isso, alguns indivíduos se sobressaem no dossel da floresta e outros são dominados por seus vizinhos (DURLO, 2001).

Sendo assim, Schneider e Finger (2000) relataram que a competição pode ser descrita em função da copa, usando-se para tanto, dados de comprimento, altura e diâmetro. Posição sociológica e tendências de crescimento também podem ser utilizadas, e auxiliam na determinação do momento adequado para que intervenções com desbaste sejam realizadas.

1.5 DENDROGRAMAS DE MANEJO DA DENSIDADE

Quando a densidade populacional de um povoamento não é a ideal, seu desenvolvimento é prejudicado. Isso ocorre, pois, o número exagerado de árvores numa determinada área origina forte concorrência entre as plantas, e provoca um desbaste precoce antes do programado, o qual é dispensável e antieconômico (MONTEIRO e CORDEIRO, 1993). Sendo assim, o desbaste ganha importância como regulador da densidade, do espaço disponível para o crescimento e da distribuição espacial (SCHNEIDER, 2004).

O desbaste é uma técnica muito utilizada na produção de florestas, pois aumenta o crescimento individual das árvores remanescentes. Porém, ocorre uma redução do volume de madeira no final da rotação, compensada por um produto diferenciado. Devido a isso, é muito importante fazer análises de mercado locais para ver o tipo de demanda, antes de aplicar as técnicas necessárias (PADOIN, 2007).

De acordo com Scolforo et al. (1997), dentre os objetivos para execução de um desbaste os que ganham destaque são: diminuir a competição e retomar o crescimento dos indivíduos remanescentes. Dessa maneira é possível aprimorar o padrão desses indivíduos, uma vez que são retiradas as árvores de menor porte e defeituosas, além de atenuar o estresse das árvores, como forma de proteção ao ataque de pragas e doenças.

Várias são as técnicas existentes para determinação do momento exato para a realização de desbastes, assim como a porcentagem a ser executada. Dentre essas técnicas, existe o dendrograma de manejo de desbaste (*DMD*) que, segundo Possato (2014), consiste em uma ferramenta útil, facilitadora da visualização simultânea de diversas relações dendrométricas. Comumente, os *DMD* representam as inter-relações entre diâmetro médio quadrático, número de árvores por hectare, volume por hectare, altura dominante, codominante média ou índice de sítio e algum índice de densidade como, por exemplo, o Índice de Densidade do Povoamento (IDP) de Reineke (1933).

Com o dendrograma de manejo da densidade é possível determinar a máxima produtividade em área basal e volume, a partir de dados de florestas plantadas

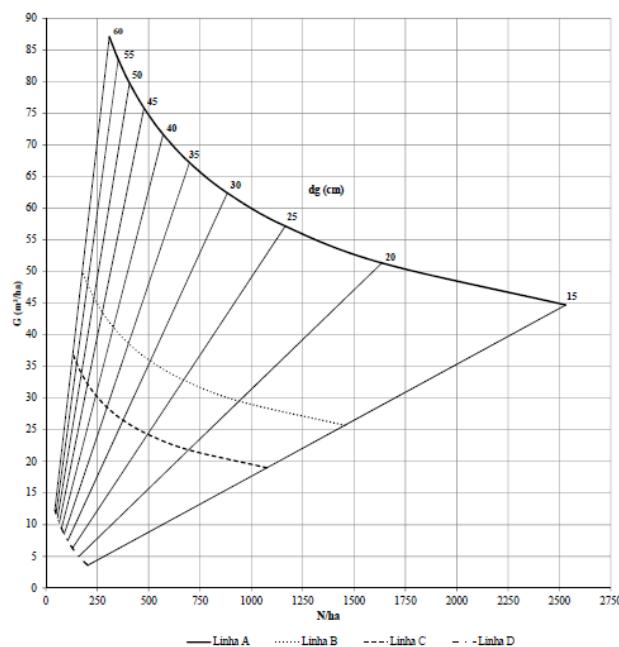
superestocadas. Com isso torna-se possível indicar os momentos de intervenções de desbastes evitando a mortalidade das árvores pela concorrência e consequentes prejuízos econômicos (LOUREIRO, 2013).

Os dendrogramas estão fundamentados na curva de máxima densidade, sendo assim, são inseridas múltiplas linhas paralelas proporcionais. Deste modo, a equação que gera a máxima densidade é alterada, a partir da multiplicação por uma constante que varia entre 0 e 1 e, adicionam-se retas como referências, para indicar os diferentes diâmetros quadráticos (GEZAN et al., 2007).

No entanto, outra técnica para representar linhas de densidade no dendrograma é através do IDP. A partir de um diâmetro médio é determinada a densidade de árvores por hectare, e as linhas são definidas para intervalos fixos em número de árvores (SCHNEIDER, 2008).

O autor ainda ressaltou que o resultado do ajuste do modelo de densidade e diâmetro origina quatro tipos de linha. A linha média de máxima densidade e diâmetro (linha A), posteriormente, a linha de início da mortalidade (linha B), a linha de início da produção máxima do povoamento (linha C) e a linha de ocupação das copas (linha D), conforme pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 Dendrograma de manejo de densidade para *Araucaria angustifolia*, em Santa Catarina.



Fonte: COSTA et al., (2016).

A obtenção da linha “A” para a confecção do dendrograma se dá por meio de dados de povoamentos que se encontram em densidade completa, na situação de mortalidade de algumas árvores. Já para linha “B” demarca-se uma área, onde acima há início da mortalidade das árvores, pelo excesso de competição e, abaixo, incide à máxima produção do plantio. Na linha “C”, determina-se o início da área de máxima produção, que ascende até alcançar a linha B, que compreende uma faixa sugerida de manejo da espécie cultivada, e atinge o estoque completo (SCHNEIDER, 2008).

Dessa forma, Saunders e Puettmann (2000) destacaram que ao utilizar esses dendrogramas é necessário conhecer o número de árvores por hectare, o diâmetro médio, o volume e a altura dominante do povoamento. Com esses dados, é possível originar três tipos de dendrogramas, por meio da combinação de variáveis dendrométricas, sendo eles: o dendrograma com o número de árvores por hectare, área basal por hectare e diâmetro médio; com número de árvores por hectare, volume por hectare e diâmetro médio e com número de árvores por hectare, volume médio, altura dominante e diâmetro médio. Assim, estes dendrogramas permitem inferir sobre os regimes de manejo de uma população.

Possato (2014) ao estudar o *Eucalyptus urophylla* utilizou o dendrograma de desbaste para determinar o momento adequado para a realização de desbastes, ou seja, o momento em que as condições são as de melhor capacidade produtiva. O autor ainda enfatiza que o uso dos dendrogramas faz parte de um manejo que envolve não somente desbaste, mas sim a qualidade do sítio, idade certa para ocorrência da prática, e também quanto de desbaste o povoamento tolera.

1.6 MODELAGEM MATEMÁTICA FLORESTAL

Os modelos matemáticos têm uma longa tradição na ciência florestal, pois tiveram início juntamente com os primeiros plantios de florestas. Isso foi consequência da necessidade de resultados serem extrapolados, com base em um número limitado de dados advindos de medições a campo (SPATHELP e NUTTO, 2000). E, desde então os modelos matemáticos tem alcançado grandes progressos referentes à análise quantitativa do desenvolvimento florestal (RIBEIRO, 2012).

Para Spathelf e Nutto (2000) modelos matemáticos são sistemas de equações, através dos quais se torna possível estimar a produção de madeira em volume e qualidade, assim como o crescimento de árvores e de povoamentos, permitindo também o estudo de relações

dendrométricas e morfométricas. Machado et al. (2006) evidenciaram ainda que a modelagem auxilia na redução do tempo e custos da coleta de dados, pois diminui a necessidade de parâmetros levantados a campo.

De acordo com Guimarães (2001) a modelagem consiste em encontrar os coeficientes de uma equação que melhor descrevem o comportamento de um conjunto de dados. Sendo assim, Rossi (2007) ressaltou que as equações são compostas por coeficientes, com valores conhecidos e variáveis.

Ainda conforme o mesmo autor, equações lineares são aquelas onde os coeficientes estão elevados a um e encontram-se em condições de subtração e adição. Já as não lineares, são aquelas onde os coeficientes possuem expoente diferente de um, e estão em condições de multiplicação, divisão, radiciação e exponenciação.

Referente às equações lineares, Schneider et al. (2009) evidenciaram que quando pretende-se analisar a relação de apenas uma variável de entrada com a variável resposta tem-se o caso de Regressão Linear Simples. Por outro lado, se o objetivo é relacionar a variável resposta com mais de uma variável regressora, a Regressão Linear Múltipla deve ser utilizada.

Schneider et al. (2009) relataram que para uma análise de regressão ser realizada, algumas condicionantes devem ser atendidas, sendo elas: homogeneidade da variância, independência dos erros e a normalidade dos dados. Quando essas condicionantes não são atendidas os Modelos Lineares Generalizados (MLG) que são uma extensão dos modelos lineares múltiplos, podem ser utilizados. Neste caso, devem ser utilizados os seguintes critérios de seleção: AIC (*Akaike Information Critérion*) e DIC (*Deviance Information Criterion*), além da análise gráfica dos resíduos (SOUZA, 2010).

Muitos são os trabalhos realizados com o auxílio dos MLG, e nas mais diversas áreas florestais, onde podemos citar: silvicultura, manejo, solos, entre outras. Nesse contexto, nota-se que o uso de MLG está cada vez mais difundido sendo que, de acordo com Paula (2013), a utilização desses modelos oferece opções para as distribuições das variáveis respostas. Além disso, os MLG permitem maior flexibilidade para a relação funcional entre a variável resposta e seu preditor linear.

A exemplificação do uso dos MLG na área florestal pode ser feita através de: trabalho realizado por Díaz e Couto (1999) para determinar a mortalidade de árvores de *Eucalyptus grandis* no Estado de São Paulo, através de MLG. Determinação da taxa sustentável de corte de *Araucaria angustifolia* em um povoamento natural, visando auxiliar no manejo da

densidade dessa espécie que utilizou a técnica dos MLG (RICKEN, 2014). Bevenuto (2014) através dos MLG determinou a resistência da seringueira ao mal das folhas. Hess et al., (2015) para determinar o crescimento em altura de *Pinus taeda* L. também fizeram uso de MLG. Carvalho (2016) realizou experimentos de germinação de *Copaifera langsdorffii* Desf. usando MLG. Nota-se então a ampla empregabilidade desses modelos matemáticos no setor florestal brasileiro.

1.7 LASER SCANNER TERRESTRE

Para obtenção das variáveis quantitativas em campo o método de amostragem demanda longos períodos e uma equipe treinada para a coleta de dados. Nessas ocasiões, a medição das alturas das árvores, não é efetuada em 100%, uma vez que leva muito tempo e é uma medida de difícil obtenção. Na medição de diâmetros podem aparecer resultados enviesados, em função de erros na calibração das sutas ou fitas métricas, ou também erros aleatórios causados tanto na coleta quanto na transcrição das fichas de campo (BUCK, 2016).

Nesse sentido, Lingnau et al. (2008) enfatizaram que o desenvolvimento de novos métodos automatizados para obtenção das variáveis torna-se essencial. Com esses métodos a demanda de tempo tende a ser menor, e uma boa precisão é mantida, além de possíveis erros serem eliminados. Para tanto, o *Laser scanner* terrestre (*TLS*) surge como uma tecnologia usada para determinar distâncias de alta precisão em relação a objetos. O resultado de seu uso é a formação de uma densa nuvem tridimensional de pontos (LICHTI; PFEIFER e MAAS, 2008).

O equipamento *TLS* é largamente utilizado na mineração, construção civil e arquitetura, e atualmente começou a ser aplicado na área florestal. Esta tecnologia permite a coleta de dados de forma indireta, ou seja, sem contato direto com as árvores. Isso possibilita de forma eficiente a coleta de dados de difícil acesso (WUTKE, 2006; LINGNAU et al. 2008).

Sendo assim, evidencia-se que o sistema *laser* terrestre traz como vantagem a rapidez na obtenção de uma grande quantidade de pontos, a partir dos quais serão derivadas as variáveis dendrométricas mais complexas, como diâmetros ao longo do fuste. Nos métodos convencionais, a obtenção de tais variáveis torna-se praticamente inviável sem o corte da árvore (BIENERT et al. 2006)

O potencial do uso desta tecnologia para a mensuração florestal torna-se evidente, com as inúmeras aplicações que tem ganhado. Hopkinson et al. (2004) avaliaram a medição de parâmetros florestais utilizando *laser* terrestre e compararam os resultados encontrados com as medições de campo convencionais. Esse trabalho levou em consideração as variáveis diâmetro à altura do peito, altura total e volume total. Os resultados indicaram que há uma correspondência forte entre as estimativas convencionais e as do *laser* em relação ao diâmetro à altura do peito e altura total, indicando que para as mesmas o uso de *laser* torna-se vantajoso.

Lingnau et al. (2009) realizaram um estudo em povoamento de *Pinus taeda* com idade de 30 anos e densidade de 200 arv/ha, e obtiveram bons resultados para determinação do diâmetro, altura total e diâmetros ao longo do fuste em diferentes alturas com a utilização de *laser*. Entretanto, os autores ressalvaram a dificuldade na coleta de dados em povoamentos com sub-bosque.

Em um estudo feito por Martins Neto et al. (2013), com o objetivo de realizar varredura com *laser* terrestre para mensurar as variáveis dendrométricas de uma árvore de *Eucalyptus grandis*, verificou-se a eficiência na estimativa do diâmetro à altura do peito e altura total. Além dessas variáveis, o método empregado mostrou-se eficiente na determinação de outras características dendrológicas como hábito, porte, aspectos de copa, fuste e ritidoma. Porém, os autores citaram que a ramificação e a identificação das folhas foram comprometidas pela falta de dados na parte superior do tronco e também pela tecnologia não fornecer esses dados de maneira específica.

1.8 CONCLUSÕES

Neste primeiro capítulo, realizou-se uma contextualização das problemáticas levantadas na pesquisa. Para tanto, foi discorrido sobre o estado da arte de cada tema abordado, assim como efetuada a explanação de trabalhos já realizados na área florestal. O mesmo serviu como base para a confecção dos capítulos seguintes. Esses por sua vez, tratarão mais especificamente das metodologias e processamento dos dados coletados para, que os objetivos propostos pela dissertação fossem alcançados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. Anuário Estatístico da ABRAF 2013 - Ano base 2012. Brasília: [s.n.], 2013.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506p.

BEVENUTO, J. A. Z. **Resistência da seringueira ao mal das folhas e modelagem no patossistema *Hevea* sp. – *Microcyclus ulei* através dos parâmetros monocíclicos**. 61f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Botucatu. 2014.

BIENERT, A.; MAAS, H.G.; SCHELLER, S. Analysis of the information content of terrestrial LASER scanner point clouds for the automatic determination of forest inventory parameters. In: Workshop on 3D Remote Sensing in Forest, 2006, **Anais...** 2006. p.14-15.

BRAZ, R. L.; OLIVEIRA, J. T.S; ROSADO, A. M.; VIDAURRE, G. B.; PAES, J. B.; TOMAZELLO FILHO, M.; LOIOLA, P. L. Caracterização anatômica, física e química da madeira de clones de Eucalyptus cultivados em áreas sujeitas à ação de ventos. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 5, n. 2, p. 10-12953. v.05 n. 02, 2014.

BUCK, A. L. B. **Modelagem de dados laser scanner terrestre para estimativa do volume em plantios clonais de *Eucalyptus* spp.** 145f. Tese (Doutorado Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2016.

CARVALHO, F. J. **Análise de experimentos de germinação usando os modelos lineares generalizados**. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias). Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2016.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** Dissertação (Mestrado). 137f. Universidade Federal do Paraná, 2005.

COSTA, E.A.; FINGER, C.A.G.; FLEIG, F.D.; HESS, A.F.; MARANGON, G.P., Dendrograma de manejo da densidade para uma floresta inequiânea de araucária. **Floresta**, v.46, n.2, p.173-184. 2016.

COSTA, E. A. **Influência de variáveis dendrométricas e morfométricas no incremento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze**, Lages, SC. Dissertação (Mestrado). 148f. Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

DÍAZ, M. D. P.; COUTO, H. T. Z. Modelos generalizados para a mortalidade de árvores de *Eucalyptus grandis* no Estado de São Paulo, Brasil. **Scientia forestalis**. n.56, p. 101-111. 1999.

DOSSA, D.; SILVA, H. D.; BELLOTE, A. F. J.; RODIGHERI, H. R. Produção e rentabilidade do eucalipto em empresas florestais. **Comunicado Técnico 83 – Embrapa Florestas**, v. 1, p. 4, 2002.

DURLO, M. A.; DENARDI, L.; Morfometria de *Cabrela canjerana* em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria (RS), v. 8, n. 1, p. 55-66. 1998.

DURLO, M. A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. **Ciência Florestal**. Santa Maria (RS), v.11, p.141-149, 2001.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J.; DENARDI, L. Modelagem da copa de *Cedrela fissilis* Vellozo. **Ciência Florestal**, Santa Maria (RS), v. 14, n. 2, p. 79- 89, 2004.

EMBRAPA. **Zoneamento Ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina**. Curitiba, 1988. 30p.

GEZAN, S. A.; ORTEGA, A.; ANDENMATTEN, E. Diagramas de manejo de densidad para renovales de roble, raulí y coigüe em Chile. **Bosque**, Valdivia, v. 28, n. 2, p. 97-105, 2007.

GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; BEHLING, M.; ALVES, J. M.; PIZZI, G. T.; ANGELI, A. Produtividade de plantações de eucalipto manejadas nos sistemas de alto fuste e talhadia, em função de fatores edafoclimáticos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba (SP), v. 42, n. 103, p. 411-419, 2014.

GUIMARÃES, P. S. **Ajuste de curvas experimentais**. Santa Maria: UFSM, 2001. 233p.

HESS, A. F.; CIANORSCHI, L. D.; SILVESTRE, R.; SCARIOT, R.; RICKEN, P. Aplicação dos modelos lineares generalizados para estimativa do crescimento em altura. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo (PR), v. 35, n.84, p.427-433. 2015.

HOPKINSON, C.; CHASMER, L., YOUNG-POW, C., TREITZ, P. Assessing forest metrics with a ground-based scanning LIDAR. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 34, p. 573-583, 2004.

IBÁ - Indústria Brasileira De Árvores. **Anuário estatístico IBÁ 2016, ano base 2015**. Brasília: IBÁ, 2016.

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

LICHTI, D.; PFEIFER, N.; MAAS, H. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing theme issue “Terrestrial Laser Scanning”. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 63. p. 1-3, 2008.

LINGNAU, C.; MACHADO, A.; BAVARESCO JÚNIOR, A.; COLLA, F. L. Determinação de diâmetros em diferentes alturas de árvores individuais a partir de dados laser terrestre. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE 2009. p. 5031 – 5038.

LINGNAU, C.; SILVA, M. N.; SANTOS, D. S.; MACHADO, A.; LIMA, J. G. S. Mensuração de alturas de árvores individuais a partir de dados laser terrestre. **Ambiência**, Guarapuava, v. 4, p. 85-96, 2008.

LOUREIRO, G. H. **Diagrama de manejo da densidade para Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). 72f. Universidade Federal do Paraná. 2013.

MACHADO, S. A.; TÉO, S. J.; URBANO, E.; FIGURA, M. A.; RODRIGUES, L. S. C. Comparação de métodos de cubagem absolutos com o volume obtido pelo xilômetro para Bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham). **Cerne**, Lavras (MG), v. 12, n. 3, p. 239-253, 2006.

MARTINS NETO, R. P.; Eficiência de diferentes métodos de filtragem da nuvem de pontos na varredura Laser Terrestre para a obtenção de dados dendrométricos. **Anais...** XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013, p. 6185-6192.

MONTEIRO, R. F. R.; CORDEIRO, A. C. Ensaio de competição entre espaçamentos em *Pinus taeda*. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4, 1983, Belo Horizonte, **Anais...** Belo Horizonte: SBS/SBEF, 1993, p. 357-360.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil.** Sociedade Brasileira de Silvicultura. São Paulo, SP, 24p. 2000.

MORAIS, V. M. **Dinâmica de crescimento de eucalipto clonal sob diferentes espaçamentos, na Região Noroeste do estado de Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). 63f. Universidade Federal de Lavras, 2006.

NUTTO, L.; TONINI, H.; BORSOI, G. A.; MOSKOVICH, S. A.; SPATHELF, P. Utilização dos parâmetros da copa para avaliar o espaço vital em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 42, p. 110-122, 2001.

ORELLANA, E.; KOEHLER, A. B.; Relações morfométricas de *Ocotea odorifera* (Vell) Rohwer. **Revista Acadêmica Ciência Agrárias e Ambientais**, Curitiba (PR), v. 6, n. 2, p. 229-237, 2008.

PADOIN, V. **Diretrizes para desbaste de *Pinus taeda* L. em função da altura dominante.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). 95f. Universidade de Santa Maria, 2007.

PAULA, G. A. **Modelos de regressão com apoio computacional.** 2013. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Matemática e Estatística, [s.d.]. Disponível em: http://www.ime.unicamp.br/~cnbr/Livro_MLG.pdf Acesso em: 25 de julho de 2017.

PEREIRA, T. K. **Planejamento florestal otimizado de plantios de *Eucalyptus* spp. Considerando blocos anuais de colheita.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Florestal). 48f. Universidade Federal do Paraná, 2016.

POSSATO, E. L. **Manejo da densidade em povoamentos de eucalipto.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). 111f. Universidade Federal de Lavras. 2014.

PREVEDELLO, J.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; VOGELMANN, E. S.; FONTANELA, E.; REICHERT, J. M. Manejo do solo e crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden em Argissolo. **Ciencia Florestal**, Santa Maria (RS), v. 23, n. 1, p. 129–138, 2013.

RIBEIRO, A. **Modelagem e quantificação de nutrientes em povoamentos nativos de Bracatinga.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). 143f. Universidade Federal do Paraná. 2012.

RICKEN, P. **Incremento, espaço horizontal e competição em povoamento natural de *Araucaria angustifolia* no Planalto Catarinense.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). 105f. Universidade do Estado de Santa Catarina. 2014.

ROSSI, L. M. B. **Processo de difusão para simulação da dinâmica de florestal natural.** Tese (Doutorado em Ciências Florestais). 148f. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2007.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; LEITE, H. G.; COMERFORD, N. B.; NOVAIS, R. F. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa (MG), v.32, n.4, p.697-706, 2008.

SANTOS, M. J. C.; SANTOS, F. R.; RIBEIRO, M. J. B. - Parâmetros Interdimensionais de Clones de Eucalipto em Sistema Silvipastoril na Região Semiárido. **Cadernos de Agroecologia**. Dourado, v. 9, n.4, 2014, p. 1-11.

SAUNDERS, M. R.; PUETTMANN, K. J. **A preliminary white spruce density management diagram for the lake states.** Minnesota: Department of Forest Resources. College of Natural Resources and Minnesota Agricultural Experiment Station. University of Minnesota, 2000. 14 p.

SCHNEIDER, P. S. P. **Autodesbaste e diagrama de manejo da densidade e povoamentos de *Pinus taeda* L.** 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

SCHNEIDER, P. R.; COELHO, M. C. B.; ZANON, M. L.; FINGER, C. A. G.; KLEIN, J. E. M. Equações de volume para *Eucalyptus dunnii* Maiden, determinadas para a depressão central do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**. Santa Maria (RS), v. 27, n. 3, p. 425-428, 1997.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. **Manejo sustentado de florestas inequívocas heterogêneas.** Santa Maria: UFSM. 2000. 195p.

SCHNEIDER, P. R. **Manejo florestal:** planejamento da produção florestal. Santa Maria, UFSM, 2004, 493 p.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. S. P.; FLEIG, F. D.; THOMAS, C.; FARIA, J. A. Quociente do diâmetro pelo área basal e zonas de competição em povoamento monoclonal de *Eucalyptus saligna*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.21, n.4, p 757-766, 2011.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao Manejo Florestal**. 2 ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. 566p.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S.; MARTINELLI, A. C. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. Santa Maria : FACOS, 2009.

SCOLFORO, J. R. S. MAESTRI, R.; MACHADO, S. A.; Um modelo de crescimento e produção como suporte para manejo florestal. In: CURSO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL, 1997. Colombo, Anais.... Colombo, Embrapa, 1997. p. 1-31.

SELLE, G. L. **Guias de densidade e índices de sítios para *Hovenia dulcis* Thunberg na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). 110f. - Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

SOUSA, K. M. M. **Modelos Lineares Generalizados e modelos de dispersão aplicados à modelagem de sinistros agrícolas**. Dissertação (Mestrado em Ciências). 66f. Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”. 2010.

SPATHELF, P; NUTTO, L. Modelagem aplicada ao Crescimento e Produção Florestal – com exemplos e exercícios. **Apostila**. Santa Maria (RS), 2000, 71p.

TREVISAN, R.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; MENEZES, L. F. Efeito Da Intensidade De Desbaste Nas Características Dendrométricas E Tecnológicas Da Madeira De *Eucalyptus grandis*. **Ciencia Florestal**, Santa Maria (RS). v. 17, p. 377–387, 2007.

VITAL, M. H. F. Impacto Ambiental de Florestas de Eucalipto. **Revista o BNDES**, v. 14, n. 28, p. 235–276, 2007.

WADSWORTH, F. **Producción forestal para America Tropical**. Washington: USDA, 2000, 602 p.

WINK,C. **Estoque de carbono em plantações de *Eucalyptus* ssp. implantados em campo ativo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). 132f. Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

WUTKE, J. D. **Métodos para avaliação de um sistema laser scanner terrestre**. 2006. 86f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

CAPÍTULO 2

RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS PARA *Eucalyptus dunnii* Maiden EM RIO NEGRINHO / SC

RESUMO

As relações morfométricas retratam sobre o espaço que um indivíduo precisa para se desenvolver e auxiliam em práticas de manejo. Assim, o presente estudo objetivou determinar os índices morfométricos e ajustar modelos para suas relações, afim de conhecer suas variações, entre diferentes idades de um povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden., em Rio Negrinho, Santa Catarina, como ferramenta de auxílio para intervenções silviculturais para a espécie. Para tanto, foram alocadas 47 parcelas de 400m² cada, sendo que em 20% das árvores de cada parcela mensurou-se a circunferência à altura do peito (*CAP*), altura total (*h*), altura de inserção de copa (*hic*) e quatro raios de copa (*Rc*), do restante mediu-se apenas *CAP*. Com base nisso, determinaram-se: diâmetro à altura do peito (*DAP*), comprimento de copa (*cc*), área de copa (*Ac*), percentual de copa (*PC%*), diâmetro de copa (*dc*), índice de abrangência (*IA*), índice de saliência (*IS*), grau de esbeltez (*GE*), formal de copa (*FC*) e número real de árvores/ha (*Nr*). Primeiramente, determinaram-se para 80% das árvores de cada parcela através dos modelos lineares generalizados (MLG): *h*, *dc* e *cc* em função do *DAP*. Através da correlação linear simples de Pearson (5% de probabilidade de erro), testou-se a relação entre as variáveis coletadas. Na análise de covariância testou-se a diferença existente entre nível e inclinação das variáveis que mais se correlacionaram entre si, usando como covariável a idade. Para o ajuste das equações da relação morfométrica se utilizou os MLG, sendo as análises processadas no Software SAS 9.3. As equações ajustadas foram: *PC%* em função do *cc* e *IA* em função do *dc*. A análise de covariância das duas relações que envolveram quatro variáveis, indicou a necessidade de diferentes modelos para cada idade. A modelagem apontou que nas diferentes idades a melhor distribuição foi a gama para as relações entre *PC%* e *cc*. Já para a relação entre *IA* e *dc*, a melhor distribuição foi a Normal. Os resultados auxiliam à compreender desenvolvimento de fuste e copa da espécie estudada assim como as mudanças na dinâmica estrutural e temporal do povoamento, indicando que a partir do quarto ano o povoamento encontra-se em condições de competição e intervenções como o desbaste precisam ser efetuadas.

Palavras-chave: Manejo florestal; Modelos lineares generalizados; Espécie exótica.

CHAPTER 2

MORPHOMETRIC RELATIONS FOR *Eucalyptus dunnii* Maiden IN RIO NEGRINHO / SC

ABSTRACT

Morphometric relationships portray the space that an individual needs to develop and assist in management practices. The objective of this study was to determine the morphometric indexes and to adjust models for their relationships, in order to know their variations, among different ages of a settlement of *Eucalyptus dunnii* Maiden, in Rio Negrinho, State of Santa Catarina, as a support tool for silvicultural interventions for the species. In order to do so, 47 plots of 400 m² each were allocated, and in 20% of the trees of each plot the circumference at breast height (*CAP*), total height (*h*), crown insertion height (*hic*) and four crown rays (*rc*), of the remainder measured only *CAP*. Based on this, we determined: diameter at breast height (*DAP*), crown length (*cc*), crown area (*Ac*), crown percentage (*PC%*), crown diameter (*IA*), salinity index (*IS*), degree of slenderness (*GE*), formal crown (*FC*) and actual number of trees / ha (*Nr*). Firstly, 80% of the trees of each plot were determined through generalized linear models (MLG): *h*, *dc* and *cc* as a function of *DAP*. Through the simple linear correlation of Pearson (5% of error probability), the relationship between the collected variables was tested. In the analysis of covariance, we tested the difference between level and slope of the variables that most correlated with each other, using as covariate the age. For the adjustment of the equations of the morphometric relation the MLG was used, and the analyzes were processed in SAS 9.3 Software. The adjusted equations were: *PC%* as a function of *dc* and *IA* as a function of *dc*. The covariance analysis of the two relationships involving four variables indicated the need for different models for each age. The modeling showed that in the different ages the best distribution was the range for the relations between *PC%* and *cc*. For the relation between *IA* and *dc*, the best distribution was Normal. The results help to understand the development of the stem and canopy of the studied species as well as the changes in the structural and temporal dynamics of the stands, indicating that from the fourth year the stands are in conditions of competition and interventions such as thinning need to be carried out.

Keywords: Forest management; Generalized linear models; Exotic species.

2.1 INTRODUÇÃO

A área mundial de plantio com o gênero *Eucalyptus* encontra-se em ampla expansão, sendo seu uso destinado principalmente a celulose, moveleira e energia (JUVENAL e MATTOS, 2002; SOARES et al. 2003). Desse modo, Sanquetta (2002) destacou a importância em identificar os fatores que influenciam no processo de crescimento desses povoamentos florestais, afim de se obter produtos de melhor qualidade.

De acordo com Dias (2005), a madeira obtida em um povoamento é dependente da densidade que o mesmo se encontra. Sendo assim, desbastes planejados de maneira apropriada distribuem o crescimento dos sítios florestais para um número de árvores adequado. Isso possibilita que os indivíduos remanescentes tenham melhor aproveitamento dos fatores de crescimento, como água, luz e nutrientes.

Desde a inserção do gênero *Eucalyptus* no país, trabalhos são realizados para definir o momento adequado para a prática do desbaste. Para tanto, são avaliadas características como: produção (altura, diâmetro e volume) e fluxo de fatores de crescimento. No entanto, existe uma série de controvérsias nesses aspectos, o que enfatiza a necessidade de novas pesquisas visando a identificação de recursos que influenciam no desenvolvimento do *Eucalyptus*, afim de complementar os trabalhos já existentes (LEITE, 1996; MORAIS, 2006).

Como afirmou Spiecker (1981) a copa das árvores é influenciada pela competição, e essa pode ser detectada quando ocorre a ocupação total do espaço horizontal. Nesse sentido, Durlo e Dernardi (1998), ressaltaram que além de informações dendrométricas, as dimensões de copa devem ser levadas em consideração para determinação de desbastes. De acordo com Loureiro (2013) a competição entre os indivíduos em uma floresta equiânea altera de maneira direta o incremento individual, e precisa ser tratada com atenção.

Sendo assim, um aspecto importante no manejo de espécies florestais é conhecer a morfometria das árvores, a qual é obtida através de informações coletadas a partir de variáveis como diâmetro à altura do peito, altura e dados relacionados a copa. Com base nas informações morfométricas, pode-se inferir o espaço que uma espécie necessita para se desenvolver. Isso resulta de maneira direta, no número máximo de árvores para as diferentes fases de desenvolvimento de um plantio (KLEIN, 2017).

Entre as variáveis de copa estudadas, proporção de copa, índice de saliência, índice de abrangência, formal de copa e grau de esbeltez, são pouco analisadas, porém de ampla

importância. Elas auxiliam na compreensão das interações competitivas entre as árvores, e como ocorre a captação de recursos e, consequentemente, nas variações das taxas de crescimento (PRETZSCH et al., 2014).

Além disso, para Roman et al. (2009) com as informações morfométricas é possível estimar produtividade, vitalidade, níveis de competição e estabilidade dos indivíduos arbóreos. Isso configura um importante método no aperfeiçoamento de técnicas silviculturais e de manejo. Evidencia-se ainda que o conhecimento dos índices morfométricos, bem como as relações entre eles, e a dinâmica das formas das árvores, podem definir os pesos de desbaste ao longo de uma rotação.

Com base nesses pressupostos, o estudo objetiva-se em determinar os índices morfométricos e ajustar modelos para as relações entre os mesmos. Afim de conhecer as variações entre as diferentes idades de um povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden., e usar isso como ferramenta de auxílio para intervenções silviculturais e de manejo para a espécie.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Caracterização da área de estudo

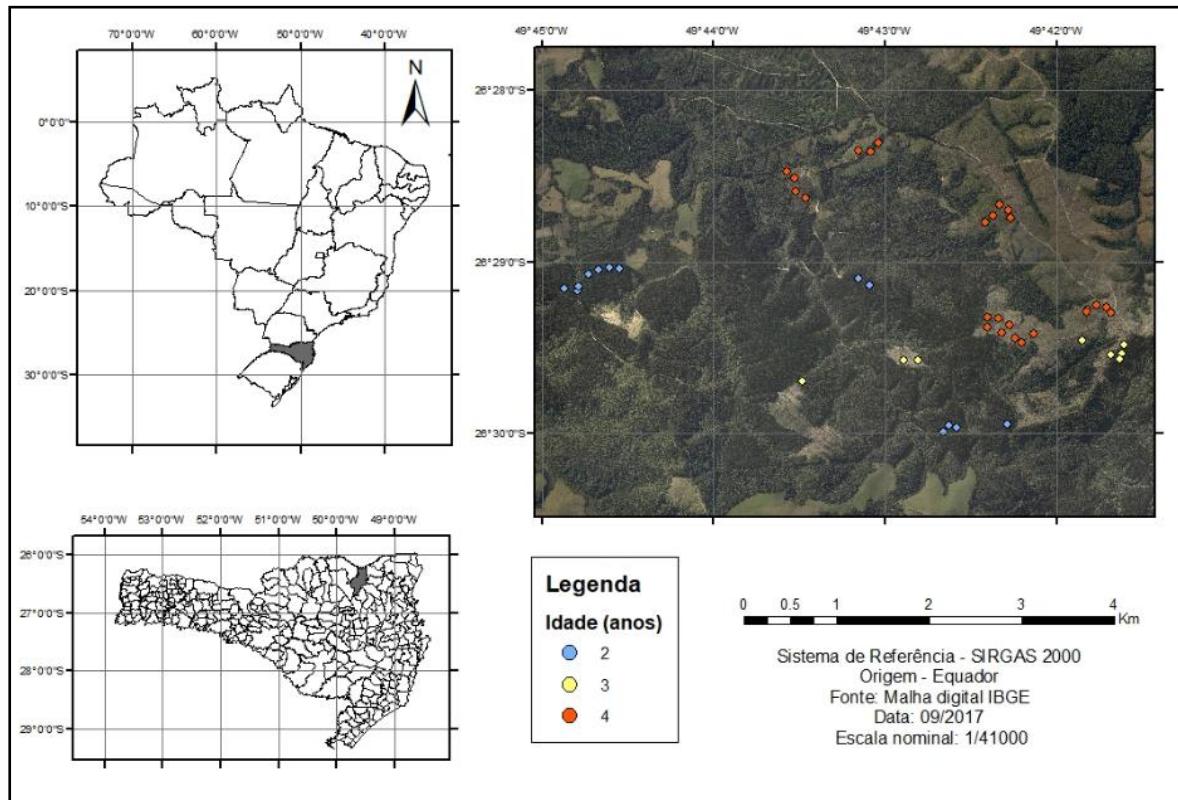
O presente trabalho foi realizado no município de Rio Negrinho (Latitude -26° 16" e Longitude - 49° 31' 06", com altitude variando entre 800m e 1.200m) localizado no Alto Vale do Rio Negro na microrregião do Planalto Norte catarinense (INPE, 2009) (Figura 1). Para tanto, foram utilizadas áreas experimentais com plantios de *E. dunnii* com idades entre 2 e 4 anos de uma empresa florestal, que utiliza os mesmos para finalidade energética.

De acordo com Bognola (2007) Rio Negrinho está inserido no extremo Norte do estado, tendo como fronteira o estado do Paraná, e situando-se entre a Serra do Mar e o Patamar de Mafra. O relevo da região é quase plano, constituído de maneira predominante por superfície colinosa. Kobiyama et al., (2007) relataram que a geologia é formada por rochas sedimentares paleozoicas.

Os solos da área são classificados como Cambissolos Húmicos Alumínicos típicos ou lépticos, com textura argilosa (BOGNOLA, 2008). Sendo esses caracterizados por apresentarem as seguintes características: pH: 4,28, Índice SMP:4,20, Ca⁽²⁾ (cmolc.^{dm-3}):0,88, Mg⁽²⁾ (cmolc.d⁻³):0,76, Al⁽²⁾ (cmolc.d⁻³): 4,64, P Mehlich⁽²⁾ (mg [.dm-3]): 0,72, K⁽²⁾ (cmolc dm⁻³): 73,80, MO (%):3,45, CTC (cmolc dm⁻³): 6,46, CTC pH 7,0 (cmolc.d⁻³)

³): 36,32, Saturação por bases (%): 5,00, Saturação por Al (%): 71,84 e Argila (g kg^{-1}): 18,50 (FRIGOTTO, 2016).

Figura 1: Parcelas em florestas plantadas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. Em Rio Negrinho, SC.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2017).

Os dados utilizados no presente estudo são provenientes de povoamentos florestais instalados em dezembro dos anos de 2011, 2012 e 2013, os quais foram mensurados início de 2016, possuindo na época de coleta de dados 2, 3 e 4 anos de idade. Os indivíduos eram provenientes de mudas clonais de *E. dunnii*, denominado clone 7003.

Na implantação desses povoamentos as áreas sofreram preparo de solo pelo método do cultivo mínimo, isto é, com subsolagem de até 0,4 m de profundidade, realizada no espaçamento de 3,0m, sendo que, o plantio possuía espaçamento padrão de 3 x 2m (1.667 mudas por hectare). Juntamente com a subsolagem foi realizada a fosfatagem.

A adubação fosfatada foi realizada com Fosfato Natural Reativo de Arad ou Gafsa, com 28% de fósforo total, no valor de 0,4t/ha. A adubação foi distribuída no sulco principal do plantio a uma profundidade de 0,30 à 0,40 cm, na profundidade da subsolagem. A calagem foi realizada com 4 t/ha.

O uso de NPK ocorreu da seguinte maneira:

- Plantio (6 - 30 - 6): Utilizaram-se 10 sacas de 50 kg/ha e ocorreu em duas fases, para que não fossem causados danos as mudas. A primeira aplicação foi de 05 a 10 dias após o plantio, com incorporação em dois pontos distintos a mais ou menos 10 cm da muda, 50g por ponto, ou seja, 100g na primeira aplicação.
- Segunda aplicação (6 - 30 - 6): Utilizaram-se 200g/planta, 90 dias após o plantio, ou quando a planta atingiu de 1,0 a 1,50m de altura em três pontos distintos ao redor da muda a distância de 0,50cm, também de forma incorporada.
- Terceira aplicação (20 - 0 - 20): Utilizaram-se 10 sacas/ha desta formulação para suprir o restante de nitrogênio e potássio. Esta formulação foi aplicada a lanço, a uma distância de 1,0m da planta. A mesma ocorreu no final do segundo ano após o plantio. Juntamente com o restante do calcário.

O plantio foi realizado manualmente sobre as linhas subsoladas, tendo sido realizados os tratos culturais comumente utilizados, como: roçada mecanizada ao final do primeiro ano após plantio e combate a formiga.

O clima da região é classificado como Cfb, ou seja, Temperado Úmido Mesotérmico, sem estação seca definida, com temperaturas médias anuais de 17°C, chegando no mês mais frio a -3°C e no mês mais quente não ultrapassando 22°C (ALVARES, 2014).

A flora da região pertence ao Bioma Mata Atlântica, inserindo-se entre as unidades Fitogeográficas de Floresta Ombrófila Mista e Floresta Ombrófila Densa. Sendo assim, a formação florestal possui exemplares das duas unidades, podendo-se citar a presença de: *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. kuntze, *Ocotea porosa* Nees et Martius Ex Nees, *Nectandra lanceolata* Ness. Et Mart. Ex Nees, *Ilex paraguariensis* St. Hil, *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer, *Aspidosperma olivaceum* Müll.Arg, *Alchornea triplinervea* (Spreng.) Müll. Arg., *Virola bicuhyba* (Schott Ex Spreng.) Warb, entre outras (KLEIN, 1979; SANTA CATARINA, 1986; IBGE, 1992).

No entanto, com o passar do tempo, a região passou por diversas ações antrópicas fazendo com que a formação florestal ficasse restrita a remanescentes (GONÇALVES, 2011). Além disso, a região encontra-se intensamente cultivada com plantios florestais homogêneos, principalmente dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, que são explorados para finalidades energética e moveleira.

2.2.2 Instalação de Unidades Amostrais

Para a obtenção dos dados, realizou-se a amostragem aleatória simples, através da instalação de unidades amostrais temporárias, com a instalação de parcelas quadrangulares de 400m². Para tanto, em cada idade dependendo da área total de plantio, foi determinado o número de unidades amostrais avaliando-se a suficiência amostral necessária para abranger a variabilidade dos talhões, conforme equação 1 (SANQUETTA et al., 2009):

$$n = \frac{t^2 S_x^2}{E^2} \quad (1)$$

Onde: n = número de unidades amostrais a ser medido; t^2 = valor de t de student tabelado; S_x^2 = variância; $E = (LE * \bar{x})$; LE = limite do erro de amostragem admitido (10%), \bar{x} = média aritmética dos valores observados.

Dessa maneira foram instaladas 47 parcelas, distribuídas conforme estrutura apresentada pela Tabela 1:

Tabela 1 - Número de unidades amostrais coletadas em cada idade, e total de unidades. Rio Negrinho, SC.

Idade – anos	Área (ha)	Número de unidades amostrais
2	64,8	13
3	44,6	9
4	123,3	25
Total	232,7	47

Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

2.2.3 Obtenção das variáveis morfométricas e dendrométricas

Para cada árvore da unidade amostral mensurou-se a variável:

- Circunferência à altura do peito (CAP): obtida com o auxílio de uma fita métrica, em centímetros, a uma altura de 1,30m do solo. Posteriormente determinou-se o diâmetro à altura do peito (DAP) em centímetros por meio da equação 2:

$$DAP = CAP / \pi \quad (2)$$

Onde: DAP: diâmetro à altura do peito (cm); CAP: circunferência à altura do peito (cm).

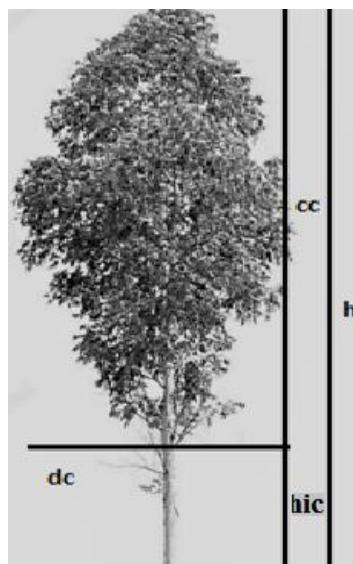
Para 20% das árvores de cada parcela, além do *CAP*, foram obtidas as seguintes variáveis:

- Altura total (*h*): medida em metros, do solo até o topo da árvore, obtida com hipsômetro TruPulse (Figura 2);
- Altura de inserção de copa (*hic*): obtida com o auxílio do hipsômetro TruPulse e determinada em metros, correspondendo a distância do solo até o primeiro galho vivo (Figura 2);
- Comprimento de copa (*cc*): determinado pela diferença entre a altura total e a altura comercial em metros, através da equação 3 (Figura 2):

$$cc = h - hic \quad (3)$$

Onde: *cc*: comprimento de copa (m); *h*: altura total da árvore (m); *hic*: altura de inserção da copa (m).

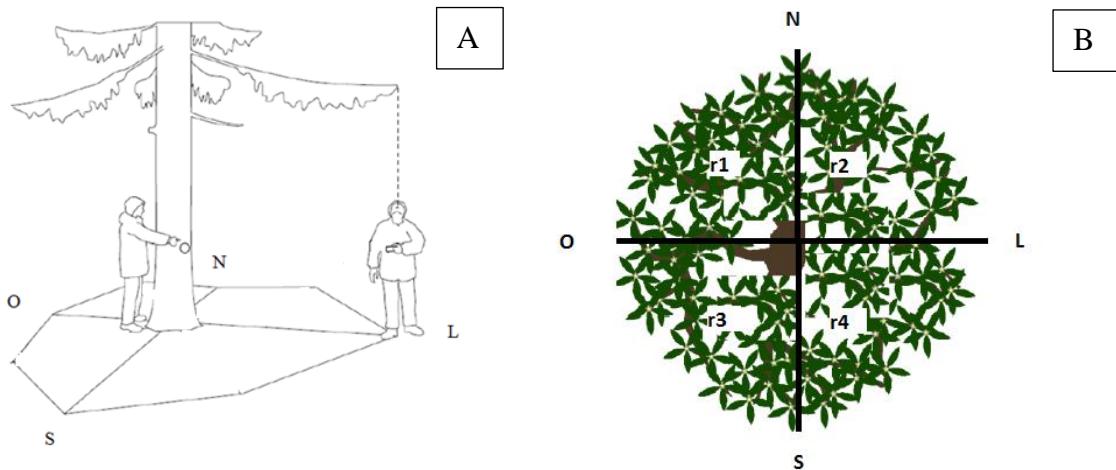
Figura 2 - Representação da altura total (*h*), de inserção de copa (*hic*), comprimento de copa (*cc*), e diâmetro de copa da árvore (*dc*).



Fonte: Dreamstime (2017) adaptado.

- Raios de copa (*rc*): foram obtidos quatro raios de copa, em metros, nas seguintes direções fixas: Norte (N), Oeste (O), Sul (S) e Leste (L). Esse procedimento foi executado com o auxílio do hipsômetro TruPulse e da orientação de uma bússola. Visando a melhor orientação nas posições cardeais, uma pessoa ficou na árvore indicando o local certo onde a outra pessoa deveria se posicionar, como pode ser observado na Figura 3:

Figura 3 - (A) - Método para obtenção dos quatro raios de copa; (B) - raios (r_1 , r_2 , r_3 e r_4) da projeção de copa obedecendo à orientação norte-leste-sul-oeste.



Fonte: (A) Pretzsch (2009) adaptado; (B) Weber (2013) adaptado.

- Diâmetro de copa (dc): foi determinado em metros, através da duplicação do raio de copa médio obtido com os quatro raios medidos a campo, conforme a equação 4:

$$dc = 2 * \overline{rc} \quad (4)$$

Onde: dc : diâmetro de copa (m); \overline{rc} : raio de copa médio (m).

- Área de copa (Ac): calculada em metros quadrados, com base nos valores dos raios de copa, como mostra a equação 5:

$$AC = \pi * rc_4^2 \quad (5)$$

Onde: Ac : área de copa circular com a média dos raios Norte, Oeste, Sul e Leste (m^2); rc_4 : média de quatro raios de copa (m).

- Proporção da copa (PC): determinada em porcentagem por meio da razão entre o comprimento da copa e a altura total da árvore, conforme equação 6:

$$PC\% = (cc / h) * 100 \quad (6)$$

Onde: PC : proporção de copa (%); cc : comprimento da copa (m); h : altura total da árvore (m).

- Formal de copa (FC): determinado em valor absoluto por meio da razão entre o diâmetro de copa e o comprimento de copa, conforme equação 7:

$$FC = dc / cc \quad (7)$$

Onde: FC : formal de copa; dc : diâmetro de copa (m); cc : comprimento da copa (m).

- Índice de Abrangência (IA): determinado em valor absoluto por meio da razão entre o diâmetro de copa e a altura total da árvore, conforme equação 8:

$$IA = dc / h \quad (8)$$

Onde: IA : índice de abrangência; dc : diâmetro de copa (m); h : altura total da árvore (m).

- Índice de Saliência (IS): determinado em valor absoluto por meio da razão entre o diâmetro de copa e o diâmetro à altura do peito, conforme equação 9:

$$IS = dc / DAP \quad (9)$$

Onde: IS : índice de saliência; dc : diâmetro de copa (m); DAP : diâmetro à altura do peito (m).

- Grau de Ebeltez (GE): determinado em valor absoluto por meio da razão entre a altura total e o diâmetro à altura do peito, conforme equação 10:

$$GE = h / DAP \quad (10)$$

Onde: GE : Grau de esbeltez; h : altura total da árvore (m); DAP : diâmetro à altura do peito (m).

Para cada parcela calculou-se:

- Número real de árvores por hectare (Nr): determinado pelo produto resultante do número de árvores de 20% da parcela e área de um hectare, e a razão disso pela área ocupada por 20% dessas árvores, conforme equação 11.

$$Nr = n20\% * 10.000 / A20\% \quad (11)$$

Onde: Nr : número real de árvores por hectare (n/ha); $n20\%$: 20% do número de árvores da parcela; $A20\%$: área ocupada por 20% das árvores.

2.2.4 Análise de dados

Para a análise de dados, tornou-se necessário estimar através de ajuste de equação, os valores de altura total, diâmetro de copa e comprimento de copa para 80% das árvores amostradas e não mensuradas à campo. Para tanto, utilizou-se como variável independente o diâmetro à altura do peito, pois o mesmo foi obtido para todas as árvores analisadas.

Após obtenção dessas variáveis foi realizada a análise da covariância, para verificar diferenças de nível e inclinação da regressão, utilizando a idade como variável categórica e o *DAP* como covariável ou variável contínua. De acordo com Schneider et al. (2009) a análise de covariância permite avaliar a necessidade do uso de diferentes equações para sítios, áreas, classes diamétricas, e no caso analisado, idades. Enfatiza-se ainda que a análise de covariância tem como base dois testes de hipóteses.

Foi adotado o modelo linear simples para a análise de covariância, sendo que através de seu uso ocorre a redução dos graus de liberdade do resíduo de uma unidade. O modelo utilizado foi (equação 12):

$$y_{ij} = \beta_0 + \tau_i + \beta_1 x_{ij} + \sum_i \beta_{2i} (\tau^* x)_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (12)$$

Onde: $i = 1, \dots, a$; $j = 1, \dots, n$; y_{ij} = observação j no grupo i; τ_i = o efeito do grupo i; β_0 , β_1 e β_{2i} = parâmetros da regressão; x_{ij} = valor da variável independente contínua para observação j no grupo i; $(\tau^* x)_{ij}$ = interação do grupo x covariante; ε_{ij} = erro aleatório (KAPS e LAMBERSON, 2004).

Como as condicionantes de regressão (homogeneidade de variância, independência dos erros e distribuição normal dos resíduos) não foram atendidas para as variáveis: diâmetro à altura do peito e altura total, utilizou-se para o ajuste das equações a técnica dos Modelos Lineares Generalizados (MLG). Segundo Sousa (2010) nos Modelos Lineares Generalizados estão inclusos modelos cuja variável resposta pertence à família exponencial de distribuições.

Sendo assim, ao usar os MLG, ganhou-se maior flexibilidade para a relação funcional entre a média da variável resposta e o preditor linear. Na aplicação dos MLG, testaram-se dois campos aleatórios, Normal e Gama, utilizando-se as funções de ligação identidade e logarítmica.

A significância e ajustamento dos modelos foram observados em função do desvio do modelo, valor do critério de informação de Akaike (AIC), valor do critério de informação

Bayesiano (BIC), dispersão dos resíduos e dispersão dos dados estimados em função dos dados observados.

Segundo Lee et al. (2006) e Weber (2013) o desvio do modelo, denominado também como *deviance*, consiste na distância entre o logaritmo da função de verossimilhança do modelo saturado e do modelo sob investigação avaliado na estimativa de máxima verossimilhança. Dessa forma, quanto menor o valor encontrado para o desvio, melhor foi considerado o ajuste.

No momento da escolha de um modelo Cordeiro e Lima Neto (2006) e Ricken (2014) enfatizaram que a análise gráfica dos resíduos é muito importante na avaliação da qualidade de ajustamento de um modelo. Além disso, a análise gráfica dos resíduos ajuda a identificar pontos irregulares, medindo o impacto dessas perturbações nas estimativas dos parâmetros. Evidencia-se ainda que, através dos resíduos, as discrepâncias entre os valores observados e seus valores ajustados foram avaliadas.

O AIC e o BIC, representam a ausência de generalidade do modelo e penalizam tanto a falta de ajuste aos dados quanto a alta complexidade do modelo. Sendo assim, foram considerados os menores valores de ambos os critérios, na definição dos melhores ajustamentos dos modelos (AKAIKE, 1981). A medida AIC foi definida pela equação 13 e o BIC pela equação 14.

$$AIC = -2[Log(L) - p] \quad (13)$$

Onde: p é o número de parâmetros do modelo, e L é o valor da verosimilhança para o modelo estimado.

$$BIC = -2[Log(L) - p Log n] \quad (14)$$

Onde p é o número de parâmetros do modelo, L é o valor da verosimilhança para o modelo estimado e n é o número de observações.

Depois de determinar altura total, diâmetro de copa e comprimento de copa para 80% das árvores, realizou-se a análise de correlação de Pearson entre as variáveis morfométricas e dendrométricas, considerando-se significância a 1%. Segundo Schneider (1998) conhecer a correlação entre as variáveis é essencial para determinação de uma equação, uma vez que quanto mais correlacionadas as variáveis estiverem, melhor será o ajuste do modelo.

Após a determinação das varáveis a serem relacionadas através de equações, repetiu-se novamente os procedimentos já descritos, desde a análise de covariância até o emprego dos MLG. As análises estatísticas foram processadas no pacote estatístico SAS 9.3.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Variáveis dendrométricas e morfométricas

Considerando o inventário florestal, obteve-se no povoamento com 2 anos de idade a média de 1.550 árvores por hectare, no povoamento com 3 anos encontrou-se o valor de 1.505 árvores por hectare e com 4 anos 1.433 árvores por hectare. Nota-se que ocorreu uma redução no número de árvores por hectare, o que já era esperado, uma vez que a tendência é que ocorra mortalidade com o passar do tempo, seja ela natural atribuída a fatores aleatórios, ou adicional, devido à competição entre as árvores (BERGER et al., 2002). Conforme Selle (2009) essa competição acontece em virtude da própria ocupação física do terreno, uma vez que com o tempo e crescimento das árvores o espaço de ocupação passa a ficar reduzido.

A mortalidade até o segundo ano correspondeu a 7,02 % das mudas plantadas, até terceiro ano 9,72 % e quarto ano 14,40%. Conforme Chies (2005) a redução no número de árvores é influenciada por diversos fatores, podendo-se citar: número de tratos silviculturais realizados ao longo da rotação, taxa de mortalidade, fatores de competição, entre outros. Além disso, Monteiro e Cordeiro (1993) enfatizaram que em densidades altas, o elevado número de árvores torna a quantidade disponível de nutrientes, água e luz insuficiente para alguns indivíduos. Como consequência esses indivíduos morrem, processo conhecido como autodesbaste.

Para Assmann (1970) cada árvore individual em um povoamento, possui uma quantidade necessária de espaço para crescer, e quanto maior o número de árvores por hectare, menor é o espaço médio disponível. Deste modo, a área de copa média disponível é inversamente proporcional ao número de árvores. Com o acréscimo no diâmetro das árvores, o tamanho médio das copas aumenta e, portanto, o espaço demandado para o crescimento também aumenta.

Resultados semelhantes foram encontrados por Schneider et al. (2015) com *Eucalyptus saligna* Smith, e constataram que no processo de competição intraespecífica, estabelece-se em algum momento o autodesbaste no povoamento. No entanto, somente a identificação desse momento não é suficiente para otimização do manejo dos povoamentos.

Além disso, não se pode afirmar somente com valores de porcentagem de mortalidade, que a mesma ocorre em função da densidade (SILVA et al., 2015). Sendo assim, outros aspectos, entre eles os dendrométricos e morfométricos devem ser levados em consideração. Enfatiza-se que as variáveis usadas para quantificar a densidade buscam

também expressar o grau de competição entre as árvores e sua capacidade de crescimento, auxiliando a compreender o desenvolvimento de determinado plantio florestal.

Os parâmetros dendrométricos e morfométricos identificados nos povoamentos de *E. dunnii* para as diferentes idades estão apresentados na Tabela 2. Conforme a Tabela 2, nota-se que as médias para altura, diâmetro à altura do peito e altura de inserção de copa aumentam com a idade das árvores.

Entretanto, o aumento dessas variáveis do terceiro para o quarto ano, apresenta-se pouco expressivo, sendo de 7,06% para altura, 5,11% para diâmetro à altura do peito e 3,15% para altura de inserção de copa. Já do segundo para o terceiro ano os incrementos das foram de 23,07%; 25,43% e 40,18% para altura, diâmetro à altura do peito e altura de inserção de copa, respectivamente. De acordo com Caldeira et al. (1996) fatores genéticos (procedência), qualidade de sítio, grau de competição e condições biológicas, edáficas e climáticas influenciam o crescimento em altura e também diamétrico das espécies florestais. Batista et al. (2014) ainda relataram que em alta competição pode ocorrer a estagnação de crescimento em povoamentos florestais, em alguns casos esse processo se torna tão intenso, podendo vir a durar décadas.

Balloni e Simões (1980) ao estudarem *E. saligna* também notaram que com o passar do tempo ocorreu a estagnação no crescimento em altura das árvores. De acordo com os autores, a explicação para tal fato é de certa forma simples, pois a diminuição do espaçamento dentro de certos limites tende, para muitas espécies, a aumentar o número de árvores dominadas as quais contribuem efetivamente para diminuição da altura média do povoamento.

O que reforça a citada explicação, é que o aumento das variáveis obtido do segundo para o terceiro ano mostra que os povoamentos ainda não se encontram em altas condições de competição, e que o desenvolvimento é satisfatório. Sendo assim, enfatiza-se que a partir disso, intervenções silviculturais, como por exemplo, práticas de desbaste são necessárias, uma vez que os reflexos da alta competitividade ficam evidentes.

Tabela 2 - Variáveis dendrométricas e morfométricas para *E. dunnii* para diferentes idades em Rio Negrinho, SC.

Variável	Idade (anos)	Idade (meses)	Máximo	Mínimo	Média
DAP (cm)	2	28	14,42	2,23	9,47
	3	42	37,47	3,98	12,31
	4	56	26,26	2,80	12,97
H (m)	2	28	14,70	4,70	11,64
	3	42	22,00	6,10	16,05
	4	56	26,70	5,20	17,27
Hic (m)	2	28	10,50	2,30	7,16
	3	42	19,00	2,20	11,97
	4	56	19,80	1,70	12,36
cc (m)	2	28	9,50	0,40	4,47
	3	42	17,30	0,90	4,08
	4	56	13,80	0,40	4,91
dc (m)	2	28	10,35	1,20	3,03
	3	42	4,85	1,50	3,21
	4	56	7,40	0,75	2,18
Ac (m ²)	2	28	84,13	1,13	7,78
	3	42	18,47	1,77	8,46
	4	56	43,01	0,44	4,05
PC (%)	2	28	80,51	5,56	37,87
	3	42	88,72	6,40	25,65
	4	56	86,29	2,21	28,66
FC	2	28	6,75	0,15	0,83
	3	42	2,50	0,20	0,96
	4	56	4,50	0,12	0,54
IA	2	28	0,92	0,12	0,27
	3	42	0,54	0,10	0,21
	4	56	0,40	0,06	0,13
IS	2	28	106,0	16,4	33,7
	3	42	83,5	5,3	28,4
	4	56	62,6	8,1	18,2
GE	2	28	263,7	72,0	128,5
	3	42	380,5	22,4	138,4
	4	56	293,1	85,6	141,5

Onde: **DAP**: diâmetro à altura do peito (cm); **h**: altura total (m); **hic**: altura de inserção de copa (m); **dc**: diâmetro de copa (m); **Ac**: área de copa (m²); **cc**: comprimento de copa (m); **PC%**: proporção de copa (%); **FC**: formal de copa; **IA**: Índice de Abrangência; **IS**: Índice de Saliência; **GE**: grau de esbeltez.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2017).

Os valores médios das variáveis comprimento de copa, diâmetro de copa e área de copa não acompanharam a evolução de idade dos povoamentos avaliados, sendo que os mesmos oscilaram de uma idade para outra. Isso ocorre, pois, essas variáveis morfométricas são afetadas pelos diferentes graus de concorrência a que estão submetidas (VUADEN,

2013). Assim, a copa se modifica conforme o espaço ocupado pela árvore na estrutura dimensional da floresta, beneficiando indivíduos do estrato dominante e demonstrando a capacidade desses indivíduos por competição pelos recursos (CHASSOT et al., 2011).

Esses resultados diferem dos encontrados por Wink et al., (2012) ao analisarem as mesmas variáveis para *Eucalyptus* sp., com 20, 44 e 240 meses. Os autores notaram que com o passar do tempo ocorreu o aumento nos valores das variáveis. Isso demonstra a importância da realização de desbaste nos povoamentos estudados, uma vez que as árvores não conseguem expandir suas copas de maneira satisfatória, em função do espaço reduzido a que ficam submetidas. Finger e Schneider (1999) evidenciam que esses desbastes devem ser realizados de acordo com a necessidade, expressa pelo desenvolvimento das árvores do povoamento e objetivo da produção.

Em relação ao comprimento de copa, quanto menor for seu valor com o passar do tempo melhor, pois maior será a parte do fuste aproveitada, no entanto isso resulta em menor capacidade de realização fotossintética. Segundo Wadsworth (2000), árvores com copas menores apresentam uma produção maior de madeira quando comparada com copas maiores contendo vários galhos. Todavia, esse resultado também traz inferência sobre a ocorrência de auto desrama, que é outro indicativo da alta competição que está ocorrendo no povoamento em questão.

Os maiores valores encontrados para variável proporção de copa foram para os povoamentos de dois anos de idade. Após isso, ocorreu uma redução dessa variável, indicando que as árvores passaram a sofrer com os fatores relacionados à competição e auto desrama. De acordo com Durlo e Denardi (1998) a proporção de copa é um indicativo de qualidade das árvores, ou seja, essa variável é capaz de indicar a vitalidade e também o grau de concorrência a que uma árvore está submetida. Sendo que quanto maior seu valor, melhor a qualidade da copa.

Loiola (2016) destacou que a competição das árvores por luz, pode ser mensurada por índices quantitativos e relacionada com seus concorrentes. Sendo assim, pode-se inferir a magnitude desse efeito nas dimensões de árvores, como por exemplo, árvores que crescem com competição possuem menor proporção de copa. Costa (2011) ainda relataram que a redução da proporção de copa, revela que a mortalidade dos ramos na base da copa é maior que o aumento do comprimento da copa e altura da árvore, indicando que está acontecendo a auto desrama no povoamento.

Vale ressaltar ainda que, a variação entre os valores máximos e mínimos para proporção de copa foi alta. Para Roman et al. (2009), isso é decorrente da diferença da intensidade de competição a que cada árvore é submetida, mostrando que existem indivíduos de uma mesma idade que se sobressaem com relação aos demais.

Considerando o formal de copa, percebe-se que o mesmo teve uma redução considerável do terceiro para o quarto ano. Isso indica que as árvores dos povoamentos mais jovens possuem copas achadas, possuindo maior capacidade de expansão lateral e maior diâmetro de copa. Fato esse que não é identificado em povoamentos mais maduros, uma vez que o espaço passa a ficar reduzido. No entanto esse resultado não é um aspecto negativo, sendo que conforme Santos (2015) o formal de copa é uma medida inversa à produtividade, ou seja, quanto menor seu valor maior a produtividade.

Evidencia-se então, de acordo com Klein (2017) que entre árvores com mesmo diâmetro, alcançará maior produtividade aquela que apresentar menor valor de formal de copa. Assim, é possível utilizar esse índice na seleção de indivíduos para desbaste, onde serão retirados aqueles com maior formal de copa.

Observou-se que o índice de saliência diminui com o passar do tempo, ou seja os indivíduos das florestas com quatro anos têm uma copa, em média 18 vezes maior que seu diâmetro à altura do peito, sendo que nas florestas jovens esse valor atinge em média 33 vezes. Portanto, com o passar do tempo, o indivíduo tende a apresentar um crescimento mais acelerado do tronco do que da copa.

Esse resultado mostra um desenvolvimento positivo do povoamento, pois, segundo Sterba (1992) um menor valor do índice de saliência significa que a árvore possui mais área de superfície de copa, ou área de assimilação, ocupando mais eficientemente o espaço. Ressalta-se ainda, que o índice de saliência é melhor quanto mais próximo de zero, indicando maior área basal e volume por hectare na floresta.

O índice de abrangência apresentou comportamento semelhante ao índice de saliência, ou seja, também reduziu com o aumento da idade. Isso demonstra que as árvores investiram mais em altura do que no desenvolvimento da copa. Roveda et al. (2012) afirmaram que em um povoamento onde o manejo é baseado na altura das árvores, o índice de abrangência é um dos critérios para tomada de decisão em um plano de desbaste. Deste modo, conforme o aumento da altura há necessidade de um espaço maior entre as árvores para desenvolvimento em diâmetro.

Ao analisar o grau de esbeltez, a floresta com 4 anos apresentou os maiores valores quando comparados aos das florestas mais jovens. Esse índice tende a diminuir com a idade das árvores, indicando que as mesmas estão em direção a uma condição de maior estabilidade (DURLO, 2001). No entanto, no presente estudo isso não foi detectado, uma vez que com o aumento da idade das árvores, o crescimento em altura foi maior que o crescimento diamétrico, e os indivíduos tornaram-se menos robustos e mais instáveis. Fato esse relacionado a competição por luz e que indica que as árvores investem primeiro no crescimento em altura do que em diâmetro.

2.3.2 Covariância e ajustes de equações em função do diâmetro à altura do peito

A análise de covariância foi empregada para verificar a existência ou não de diferença entre nível e inclinação para o ajuste de regressão para h , dc e cc em função do DAP . Tais relações propõem avaliar se existe diferença destas variáveis para as idades analisadas, bem como, conhecer o comportamento das variáveis de acordo com mudanças na estrutura do povoamento com o passar do tempo.

A análise das relações encontra-se na Tabela 3, e traz como resultado a necessidade do uso de regressões distintas para cada idade, ou seja, existe diferença entre os níveis e inclinações de regressão para h , dc e cc para idade e interação $DAP*idade$ com probabilidade de erro de <0,0001, e coeficiente de determinação entre 45 e 81%.

Evidencia-se que o valor de R^2 encontrado para relação entre dc e DAP explica somente 45% variância, indicando que existe uma grande variação no dc em relação ao DAP a medida que as árvores crescem. Isto é, no período de dois anos a variabilidade do tamanho do raio de copa (consequentemente do dc) muda rapidamente. Esse resultado demonstra também que as árvores de *E. dunnii* com o avanço da idade, diminuem sua área de copa, contudo seu crescimento continua satisfatório.

Tabela 3 - Análise de covariância para altura total, diâmetro de copa e comprimento de copa em função do diâmetro à altura do peito em Rio Negrinho, SC.

R²: 0,675676						
	FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
<i>h</i>	Modelo	8	223.458,4391	27932,3049	4876,83	<,0001
	Idade	4	219.525,2359	54881,309	9581,99	<,0001
	DAP*Idade	4	3.933,2032	983,3008	171,68	<,0001
	Erro	878	5.028,7873	5,7275	-	-
	Total	886	228.487,2264	-	-	-
R²: 0,455425						
	FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
<i>dc</i>	Modelo	7	303,3258	43,3322534	104,54	<,0001
	Idade	3	227,5555	75,851846	182,99	<,0001
	DAP*Idade	4	75,7702	18,942559	45,7	<,0001
	Erro	875	362,7020	0,4145166	-	-
	Total	883	666,0278	-	-	-
R²: 0,81114						
	FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
<i>cc</i>	Modelo	7	311,1886	44,455518	11,06	<,0001
	Idade	3	88,3014	29,4337963	7,32	<,0001
	DAP*Idade	4	222,8872	55,7218099	13,86	<,0001
	Erro	877	3.525,2265	4,019643	-	-
	Total	884	3.836,4151	-	-	-

Onde: *DAP*: Diâmetro à altura do peito (cm); *h*: Altura total (m); *dc*: diâmetro de copa (m); *cc*: comprimento de copa (m); R²: coeficiente de determinação; FV: fonte de variação; gl: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: valor de F; Prob.>F: significância da probabilidade de F.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2017).

Os resultados encontrados com o uso MLG nos campos aleatórios, Normal e Gama, e nas funções de ligação identidade e logarítmica (Tabela 4) mostram que a melhor distribuição encontrada para todas as relações nas 3 idades, foi a gama. Em relação a função de ligação, nota-se que a relação entre *cc* e *DAP* para o quarto ano, teve como melhor função a logarítmica. As demais relações apresentaram melhor desempenho com a função de ligação identidade. Ressalta-se ainda que todos os parâmetros com nível de significância nominal (valores p), inferiores a 0,0001, indicando o efeito da idade e do *DAP* no crescimento em *h*, *dc* e *cc*.

Segundo Calegario et al. (2005) o uso do MLG Gama gera intervalos de confiança com menor amplitude que os demais modelos testados. Além disso, percebeu-se com o presente trabalho que quando considerados os critérios desvio, AIC, BIC e resíduos homogeneizados, o modelo mostrou-se mais adequado, contribuindo para redução da

variabilidade das variáveis dependentes. E ainda conforme Mendonça et al. (2015) o modelo consegue alcançar estimativas da variável resposta com melhor acurácia, precisão e condizente aos dados reais.

A distribuição Gama oferece grande potencial para a modelagem de dados contínuos que apresentam superdispersão e, portanto, heterogeneidade de variância (CONTRERAS et al., 2011), fato esse identificado na presente pesquisa. Hess et al. (2015) para o estudo da predição de crescimento em altura em função das covariáveis *DAP* e idade de *Pinus taeda*, utilizando os modelos lineares generalizados também encontraram como melhor ajuste o campo aleatório Gama. Assi, segundo os autores é justificável o seu uso para gerar estimativas com acurácia, e eficiência comprovada para análise de dados não negativos e de natureza contínua.

Tabela 4 - Valores dos ajustes de MLG para as relações altura total, diâmetro de copa e comprimento de copa em função do diâmetro à altura do peito para *E. dunnii*. Rio Negrinho, SC.

Modelo	Idade	Parâmetros		Dist.	FL	AIC	BIC	DESVIO
		B₀	B₁					
<i>h/DAP</i>	2	6,0686	0,5869	Gama	Id.	1030,364	1037,462	5,8256
	3	9,126	0,5659	Gama	Id.	850,7367	856,8364	7,1789
	4	7,0148	0,7936	Gama	Id.	1890,802	1898,868	7,5697
<i>dc/DAP</i>	2	1,4301	0,1677	Gama	Id.	528,1274	535,2333	12,8676
	3	2,1351	0,0879	Gama	Id.	320,2439	326,3436	6,7392
	4	1,2943	0,0682	Gama	Id.	671,7917	679,8483	27,2344
<i>cc/Dap</i>	2	2,2677	0,2292	Gama	Id.	1026,597	1033,711	42,7496
	3	2,4749	0,1316	Gama	Id.	642,7887	648,8884	34,4719
	4	1,2582	0,0252	Gama	Log.	1809,259	1817,32	89,46

Onde: *DAP*: Diâmetro a altura do peito (cm); *h*: Altura total (m); *dc*: diâmetro de copa (m); *cc*: comprimento de copa (m). Dist: Distribuição; FL: Função de ligação; B₀: coeficiente linear; B₁: coeficiente angular; AIC: critério de Akaike; BIC: critério bayesiano.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2017).

A dispersão dos resíduos para as relações *h - DAP* (A), *dc - DAP* (B) e *cc - DAP* (C) pelos MLG, em cada idade avaliada (Figura 4), mostram que os modelos selecionados apresentaram pouca discrepância residual, sem superestimar ou subestimar a variável dependente ao longo dos valores estimados. No entanto, também podem ser observados alguns *outliers*, possivelmente relacionados a variações da própria espécie, influenciadas pelo sítio e competição.

Figura 4 - Dispersão dos resíduos para as relações entre: h e DAP (A); dc e DAP (B) e cc e DAP (C), para as idades de 2 (i_2), 3 (i_3) e 4 (i_4) anos de povoamentos de *E. dunnii*, Rio Negrinho, SC(Continua).

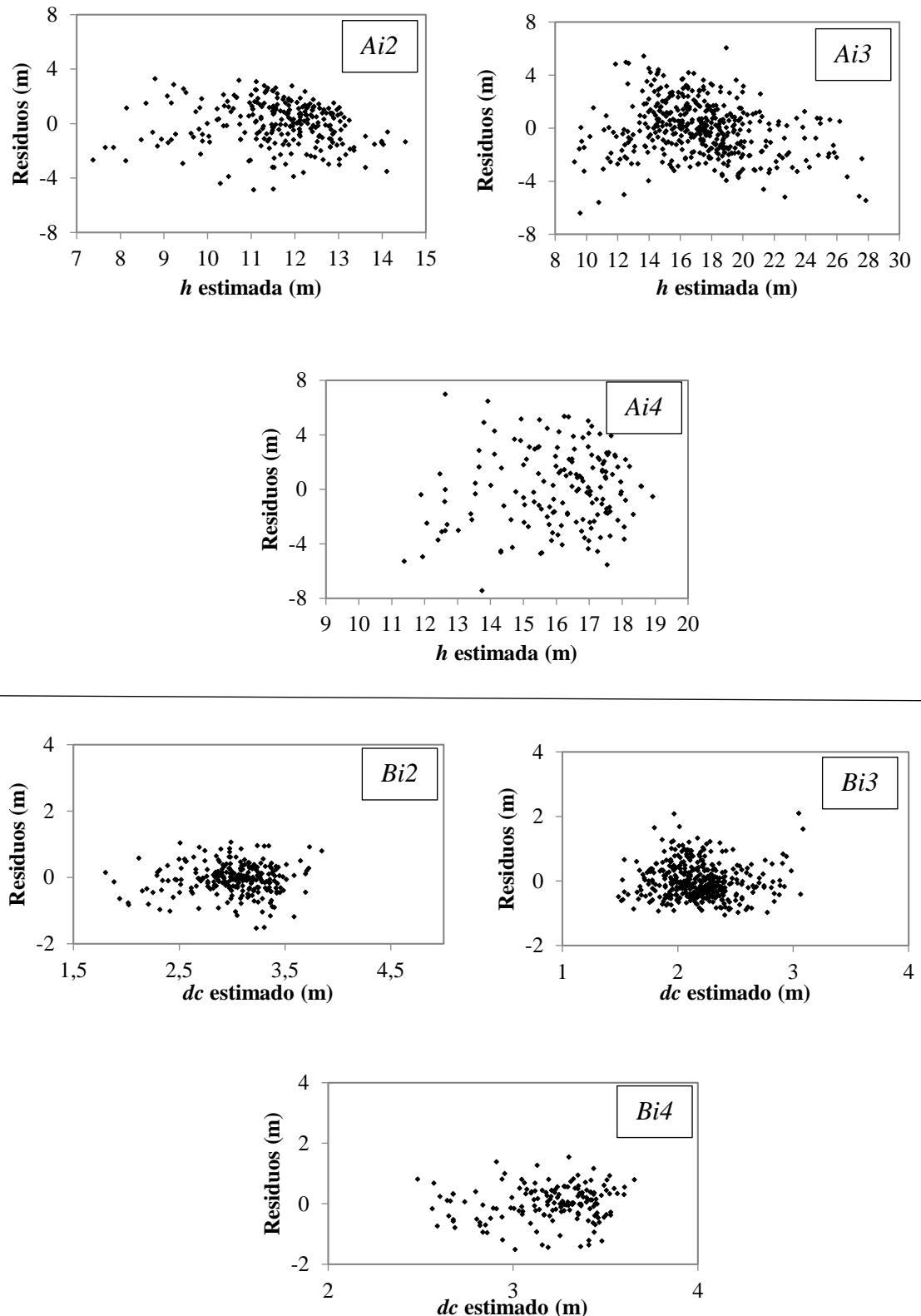
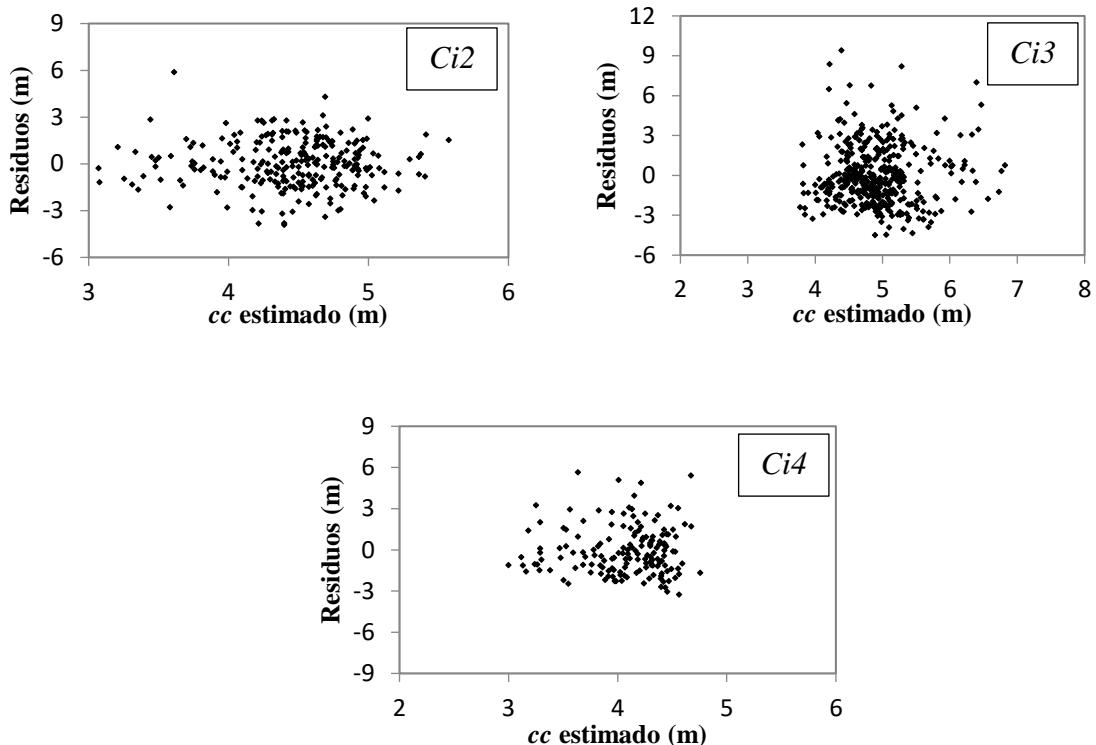


Figura 4 - Dispersão dos resíduos para as relações entre: h e DAP (A); dc e DAP (B) e cc e DAP (C), para as idades de 2 ($i2$), 3 ($i3$) e 4 ($i4$) anos de povoamentos de *E. dunnii*, Rio Negrinho, SC (Conclusão).



Onde: h : altura total; dc : diâmetro de copa (m); cc : comprimento de copa (m).
Fonte: Elaborado pela própria autora (2017).

Para avaliar o comportamento dos dados traçou-se a curva da estimativa da variável dependente, juntamente com os pontos observados para cada relação avaliada. As distribuições são apresentadas na Figura 5. Nota-se que os valores estimados conseguem seguir a tendência dos valores observados, além de relacionar-se com o DAP . Isso demonstra que os modelos utilizados conseguiram estimar com precisão os resultados, sendo esse um importante fator para o desenvolvimento do manejo florestal da espécie analisada.

O comportamento das linhas dos valores estimados apresentou resultados sem tendência discrepante. Deste modo, verifica-se uma forte relação linear entre as variáveis dependentes e independentes. Evidencia-se ainda que as três relações analisadas foram positivas, ou seja, a medida que o DAP aumenta as variáveis morfométricas também aumentam.

No entanto, esse aspecto fica mais evidente para a relação entre h e DAP . Já para as variáveis dc e cc em relação ao DAP , nota-se que não ocorre uma relação positiva tão forte. Sendo esse um dos resultados da competição à que os indivíduos estão submetidos.

Referente à relação entre dc e DAP , Loiola (2016) relatou que árvores de menor diâmetro possuem menor diâmetro de copa, como consequência da pouca luminosidade, o que inibe o crescimento em largura da copa e assimilação fotossintética. Por isso, a alta competição compromete a vitalidade da copa e produção final, o que se evidencia na idade de 4 anos, onde a reta passa a ser menos acentuada.

Resultado semelhante a esse foi encontrado por Sanquetta et al. (2014) ao estimar o dc em função de DAP para plantios de acácia-negra. No estudo, os autores também constataram que o incremento de dc em função do DAP tende a diminuir, e que a relação entre essas duas variáveis nas diferentes idades do povoamento não é a mesma, sendo afetada por diversos fatores, entre eles a competição.

A relação $cc - DAP$ confirma a hipótese de competição parcial entre as árvores da floresta. Esse tipo de competição foi identificada pois com o passar do tempo a reta do modelo torna-se menos inclinada, não apresentando um aumento tão relevante do cc em função do DAP . Assim, a dinâmica de desenvolvimento da forma da árvore indica que a medida que aumenta o DAP vai ocorrendo a redução do cc em comparação a anos anteriores, em função da própria auto desrama, que faz com que a hic seja maior para árvores mais velhas.

Figura 5 - Dispersão dos valores observados sobre a reta ajustada pelo modelo das relações entre: h e DAP (A); dc e DAP (B) e cc e DAP (C), para as idades de 2 ($i2$), 3 ($i3$) e 4 ($i4$) anos de povoamentos de *E. dunnii*, Rio Negrinho, SC (Continua).

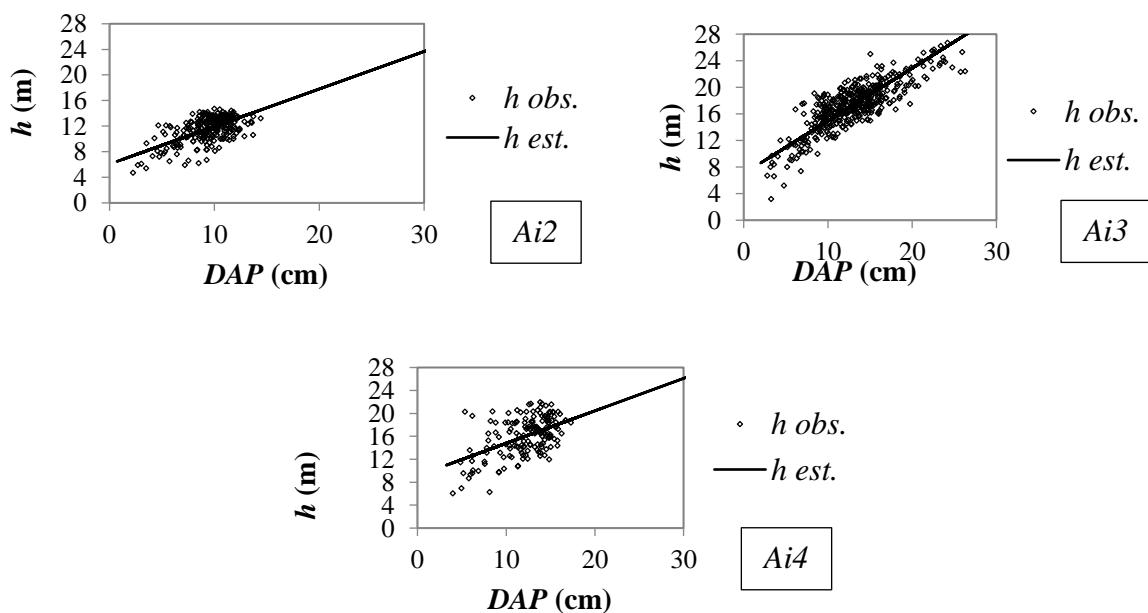
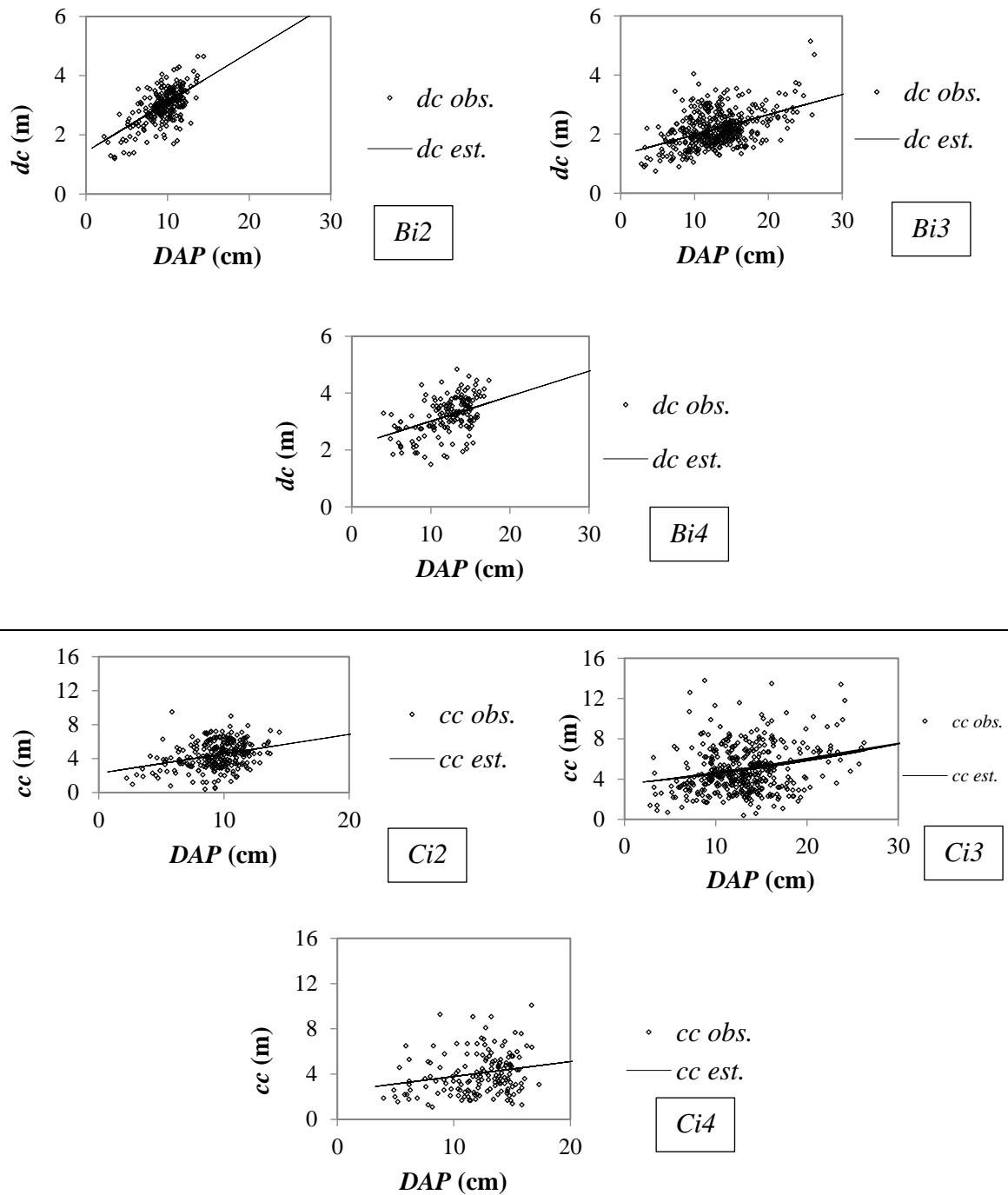


Figura 5 - Dispersão dos valores observados sobre a reta ajustada pelo modelo das relações entre: h e DAP (A); dc e DAP (B) e cc e DAP (C), para as idades de 2 (i2), 3 (i3) e 4 (i4) anos de povoamentos de *E. dunnii*, Rio Negrinho, SC (Conclusão).



Onde: *DAP*: Diâmetro a altura do peito (cm); *h*: altura total; *dc*: diâmetro de copa (m); *cc*: comprimento de copa (m); *est*: estimado; *obs*: observado.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2017).

2.3.3 Relações interdimensionais

Para modelar o crescimento das árvores de *E. dunnii*, foi observado o grau de associação linear entre a variável dependente e as possíveis variáveis independentes pela correlação de Pearson. Assim, observou-se que a maioria das correlações lineares entre as variáveis dendrométricas e morfométricas apresentaram-se de maneira significativa a 5% de probabilidade de erro. No entanto, isso não foi constatado para as relações, *Ac – DAP*; *GE – Ac* e *GE – cc* (Tabela 5).

Observou-se que a medida que o *DAP* aumenta, os valores de *h*, *hic*, *cc*, *dc*, *Ac* e *GE* também aumentam. No entanto, as correlações entre *DAP* com *PC*, *FC*, *IA* e *IS* foram negativas, ou seja, à medida que o *DAP* aumenta esses índices diminuem. Durlo (2001) ao analisar a relação entre o *DAP* e as características da copa de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. constatou que com o aumento do *DAP* também aumentavam *hic*, *IA*, *dc* e *PC*, e diminuía o *IS*.

Tabela 5 - Correlação de Pearson e probabilidades para as variáveis dendrométricas e morfométricas de *E. dunnii*, Rio Negrinho, SC.

	DAP	h	hic	cc	dc	Ac	PC	FC	IA	IS	GE
DAP	1	0,71638*	0,62889*	0,22761*	0,08761*	0,06029 ^{ns}	-0,20795*	-0,08834*	-0,33849*	-0,63034*	0,40732*
h		1	0,87009*	0,3326*	-0,08937*	-0,08083*	-0,25311*	-0,29051*	-0,64735*	-0,57422*	0,11592*
hic			1	-0,17544*	-0,15953*	-0,13631*	-0,67923*	-0,00238 ^{ns}	-0,60508*	-0,54919*	0,1077*
cc				1	0,12674*	0,09936*	0,79406*	-0,5757*	-0,13527*	-0,54919*	0,1077 ^{ns}
dc					1	0,91829*	0,18714*	0,33306*	0,75286*	-0,09615*	0,02546*
Ac						1	0,15916*	0,29169*	0,7028*	0,57965*	-0,21346 ^{ns}
PC							1	-0,46064*	0,25998*	0,56524*	-0,15706*
FC								1	0,48138*	0,2702*	-0,02102*
IA									1	0,31846*	-0,14973*
IS										1	0,29714*
GE											1

Onde: *DAP*: diâmetro à altura do peito (cm); *h*: altura total (m); *hic*: altura de inserção de copa (m); *dc*: diâmetro de copa (m); *Ac*: área de copa (m^2); *cc*: comprimento de copa (m); *PC%*: proporção de copa (%); *FC*: formal de copa; *IA*: Índice de Abrangência; *IS*: Índice de Saliência; *GE*: Grau de esbeltez. *: Significância a 1% de probabilidade de erro; ns: Não significativo.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2017).

Alguns dos resultados apresentados no trabalho citado corroboram com a presente pesquisa. No entanto alguns não coincidem, o que é explicado pela competição que as

árvores vêm sofrendo. Fato esse que pode ser constatado quando o aumento do *DAP* proporcionou maiores valores de *dc* e *GE*. Com isso evidencia-se que estão sendo formadas árvores com bom diâmetro, no entanto com copas estreitas.

Conforme Clark e Clark (2001), o efeito da competição, é refletido através das relações de copas, sendo que as dimensões exibidas pelas copas são moldadas com base nas situações à qual a árvore está submetida. Isso ocasiona alterações no tamanho das árvores, tanto em diâmetro quanto em altura e, consequentemente, gera modificações na captação de recursos para o desenvolvimento do povoamento.

Nota-se ainda, que as variáveis mais correlacionadas foram *dc* com *Ac*, isso ocorreu pois, para a determinação da *Ac* utiliza-se o *dc*. Sendo assim, esse era um resultado esperado. Outras variáveis como *h* e *hic* também foram altamente correlacionadas. Estudos de Orellana e Koelhler (2008) mostraram que as relações entre as variáveis de copa com o *DAP* e *h* para *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer foram as mais significativas, o que coincide em partes com o presente trabalho.

Para avaliar as relações interdimensionais foram selecionadas aquelas que alcançaram maiores correlações. As quais foram as relações entre *IA – dc* e *PC - cc*, sendo estas correlações positivas. Além disso, optaram-se por essas variáveis, pois as mesmas são importantes na determinação do grau de competição do povoamento, auxiliando na tomada de decisões referentes a práticas de desbastes. Trabalho realizado por Fey et al. (2014) com *Jatropha curcas* L. também mostrou forte correlação entre *IA – dc* e *PC – cc* com valores do coeficiente de 0,77 e 0,89 respectivamente.

2.3.4 Análise de covariância e ajustes de equações de relações morfométricas

A análise de covariância para as relações forma-dimensão (Tabela 6), demonstrou a existência de diferenças entre os níveis e inclinação das linhas de regressão para as diferentes idades estudadas. Demonstrando dessa maneira que há necessidade de regressões distintas para as relações interdimensionais. As variáveis independentes utilizadas nas equações obtiveram alto grau de significância com coeficiente de determinação explicando entre 76 a 80% da variação interdimensional.

Tabela 6 - Análise de covariância das diferentes relações morfométricas para *E. dunnii* em Rio Negrinho, SC.

R²:		0,763007					
		FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
IA	Modelo	7		5,0251	0,7178719	401,98	<,0001
	Idade	3		3,6147	1,2048883	674,69	<,0001
	<i>dc</i> *idade	4		1,4104	0,3560953	197,45	<,0001
	Erro	874		1,5608	0,0017858	-	-
	Total	881		6,5859	-	-	-
R²:		0,800381					
		FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
PC%	Modelo	7		122.787,0894	17541,013	500,62	<,0001
	Idade	3		22.647,3986	7549,1329	215,45	<,0001
	<i>cc</i> *idade	4		100.139,6909	25034,923	714,5	<,0001
	Erro	874		30.623,6177	35,0385	-	-
	Total	881		153.410,7072	-	-	-

Onde: IA: Índice de Abrangência; PC%: Proporção de copa (%); dc: diâmetro de copa (m); cc: comprimento de copa (m). R²: coeficiente de determinação; FV: fonte de variação; gl: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: valor de F; Prob.>F: significância da probabilidade F.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2017).

Os resultados da análise de covariância demonstraram um efeito linear e significativo indicando que as variáveis morfométricas variam com as diferentes idades. Os modelos das diferentes relações para cada idade são apresentados na Tabela 7. Com base nos critérios usados na seleção dos modelos, para a relação IA-dc, a melhor distribuição foi a normal. Já para a relação entre PC-cc, a distribuição que se destacou foi a gama. Ambos os modelos foram considerados bons, uma vez que apresentaram os melhores ajustes, mostrando grande potencial para gerar estimativas das variáveis dependentes.

Tabela 7 - Valores dos ajustes de MLG das diferentes relações morfométricas para *E. dunnii* em Rio Negrinho, SC.

Parâmetros								
Modelo	Idade	b0	b1	Dist.	FL	AIC	BIC	Desvio
IA - dc	2	0,0437	0,0734	Normal	Id.	-818,28	-799,13	0,7181
	3	-8,3083	-0,1342	Normal	Id.	-474,46	-468,36	0,4945
	4	8,5272	-0,118	Normal	Log.	-1808,3	-1800,3	0,3328
PC - cc	2	7,5011	6,8392	Gama	Id.	1655,12	1662,24	6,1269
	3	5,4803	4,9274	Gama	Id.	1001,23	1007,33	8,1337
	4	4,3259	5,0237	Gama	Id.	2751,77	2759,83	24,203

Onde: IA: Índice de abrangência; dc: diâmetro de copa (m); PC: proporção de copa (%); cc: comprimento de copa (m). Dist: Distribuição; FL: Função de ligação; B₀: coeficiente linear; B₁: coeficiente angular; AIC: critério de Akaike; BIC: critério bayesiano.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2017).

Na avaliação do comportamento dos dados traçou-se a linha da regressão referente à estimativa juntamente com os pontos observados. Com isso, foi possível avaliar a eficiência da equação ao estimar *IA* e *PC* (Figura 6). Percebe-se que os modelos foram eficientes, pois, a tendência dos dados estimados foi a mesma que a dos dados observados.

A relação entre *IA* e *dc* mostra que existe uma certa estabilidade tanto dos dados observados como dos estimados, ou seja, a reta não é muito acentuada. Isso deve-se a forte variação que o *IA* possui dentro mesmo de cada uma das idades. A correlação positiva apresentada entre as duas variáveis analisadas indica que um maior diâmetro de copa leva a um maior índice de abrangência. Isto é, menor fuste livre, maior manto de copa e maior potencial fotossintético. Árvores de mesmo diâmetro de copa com índice de abrangência variável, são resultado da competição por espaço no povoamento, que por sua vez vem a restringir a expansão lateral das copas, principalmente para árvores dominadas.

Os resultados da relação entre *PC* e *cc* mostram que existe variação na *PC*, portanto a espécie apresenta flexibilidade dessa variável conforme a adaptação à seu ambiente local. Em estudo realizado em uma Floresta Subtropical na China Lang et al. (2010) chegaram a conclusão que indivíduos arbóreos mudam a resposta do crescimento da copa em função do meio ambiente em que se desenvolvem, o que ficou visível com os resultados apresentados no presente estudo.

Vale evidenciar ainda, que a medida que o *cc* aumenta a *PC* também apresenta ganhos. Isso é explicado pelo fato de que com maior comprimento, a copa acaba ocupando mais espaço no dossel, fazendo com que sua porcentagem em relação à dimensão total da árvore seja maximizada.

Com base no ajuste desses dois modelos, percebe-se que as copas das árvores são longas e estreitas. Resultado esse que fica evidente ao analisar que o *IA* que leva em consideração o *dc*, tem aumento em menor magnitude que a *PC* que leva em consideração o *cc*. Para Assman (1970) essa morfometria descreve o formato das árvores que crescem em espaço reduzido, ou seja, com maior número de árvores por unidade de área do que o adequado.

Sendo assim, pode-se inferir que essas relações expressam as condições de competitividade que estão sendo desenvolvidas, bem como a dinâmica da estrutura do povoamento. Indicam também habilidade competitiva, pois os indivíduos estão desenvolvendo uma tipologia de copa para interceptar luz, alcançando mais rapidamente o dossel superior da floresta. Dessa forma, diâmetro e comprimento de copa são aspectos

relevantes a serem levados em consideração no momento de decisões sobre interferências silviculturais (PELTZER e KOCHI, 2001).

Figura 6 - Dispersão dos valores observados sobre a reta ajustada pelo modelo das relações entre: índice de abrangência e diâmetro de copa (*A*) e proporção de copa e comprimento de copa (*B*), para as idades de 2 (*i2*), 3 (*i3*) e 4 (*i4*) anos de povoamentos de *E. dunnii* (Continua).

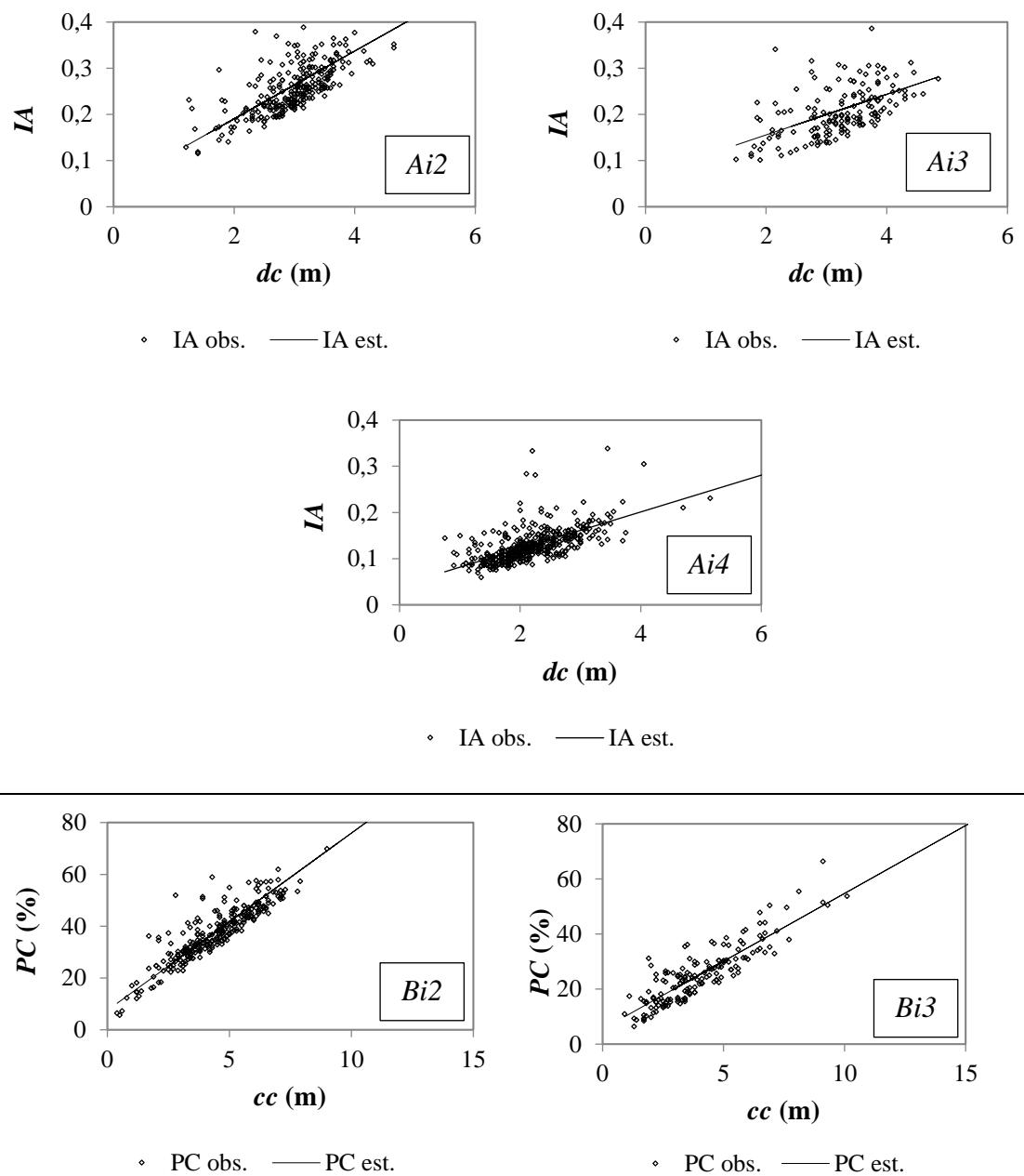
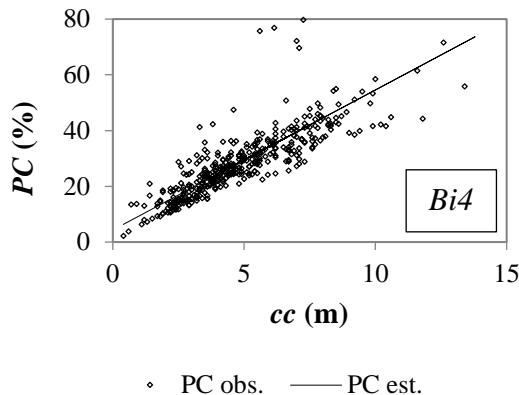


Figura 2 - Dispersão dos valores observados sobre a reta ajustada pelo modelo das relações entre: índice de abrangência e diâmetro de copa (*A*) e proporção de copa e comprimento de copa (*B*), para as idades de 2 (*i2*), 3 (*i3*) e 4 (*i4*) anos de povoamentos de *E. dunnii* (Conclusão).



Onde: *IA*: Índice de abrangência; *PC*: Proporção de copa (%); *dc*: diâmetro de copa (m); *cc*: comprimento de copa (m); *est*: estimado; *obs*: observado.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2017).

2.4 CONCLUSÕES

As relações morfométricas avaliadas demonstraram que as características de copa da espécie são influenciadas pelo diâmetro à altura do peito e pelo espaço ocupado por cada árvore no ambiente dimensional da floresta. Sendo que o diâmetro à altura do peito foi uma variável fortemente relacionada com a dimensão da copa das árvores.

Com os resultados da análise de covariância nota-se que os indivíduos apresentam características de crescimento de forma e dimensão diferentes em cada idade estudada. Isso demonstra a limitação de recurso pelo espaço. Para tanto, foi possível ajustar modelos para as seguintes relações: índice de abrangência em função do diâmetro de copa, e proporção de copa em função do comprimento de copa para cada idade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKAIKE, H. Likelihood of a model and information criteria. **Journal of Econometrics.** n.16, p.3-14, 1981.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift.** v.22, n. 6, 2014, p.711–728.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study.** Oxford: Pergamon Press, 1970. 506p.

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z; SILVA FILHO, D. F. **Quantificação de recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas.** São Paulo: Oficina de Textos, 1^a ed. 2014.384 p.

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

BERGER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A.G.; HASELEIN, C. R. Efeito do espaçamento e adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal,** v. 12, n. 2, p. 75-87, 2002.

BOGNOLA, I.A.; RIBEIRO JUNIOR, P. J.; SILVA, E. A. A.; LINGNAU, C.; HIGA, A. R. Modelagem uni e bivariada da variabilidade espacial de rendimento de *Pinus taeda* L. **Floresta,** Curitiba, v. 38, n. 2, 2008.

BOGNOLA, I. A. **Unidades de manejo para *Pinus taeda* L. no planalto norte catarinense, com base em características do meio físico.** 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2007.

CALDEIRA, M. V. W. TONINI, H. H.; HOPPE, J. M.; WATZLAWICK, L. F.; SELLE, G. L. Definição de sítios em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. na região de Encruzilhada do Sul, RS. **Ciência Florestal,** Santa Maria (RS), v.6, n.1, p.1-13, 1996.

CALEGARIO, N.; CALEGARIO, C. L. L.; MAESTRI, R.; DANIELS, R. Melhoria da qualidade de ajuste de modelos biométricos florestais pelo emprego da teoria dos modelos não lineares generalizados. **Scientia Forestalis,** Piracicaba (SP), n. 69, p. 38-50, 2005.

CHASSOT, T.; FLEIG, F. D.; FINGER, C. A. G.; LONGHI, S. J. Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em floresta ombrófila mista. **Ciência Florestal**, Santa Maria (RS), v. 21, n. 2, p. 303-313, 2011.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** Dissertação (Mestrado). 137f. Universidade Federal do Paraná, 2005.

CLARK, D. A.; CLARK, D. B. Getting the canopy: tree height growth in a neotropical rain forest. **Ecology**, v. 82: p. 1460-1472, 2001.

CONTRERAS, M. A.; AFFLECK, D.; CHUNG, W. Evaluating tree competition indices as predictors of basal area increment in western Montana forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 262, p. 1939-1949, 2011.

CORDEIRO, G.M. E LIMA NETO, E.A. **Modelos Paramétricos**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Estatística e Informática, 94p. 2006.

COSTA, E. A. **Influências de variáveis dendrométricas e morfométricas da copa no incremento periódico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, Lages, SC.** 2011, 140 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

DIAS, A. N. **Um Modelo de Gerenciamento de Plantações de Eucalipto Submetidas a Desbaste.** 2005. 147 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) –Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

DURLO, M. A.; DENARDI, L.; Morfometria de *Cabrela canjerana* em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria (RS), v. 8, n. 1, p. 55-66. 1998.

DURLO, M. A. Relações morfométricas para *Cabrala canjerana* (Well.) Mart. **Ciência Florestal**. Santa Maria (RS), v.11, p.141-149, 2001.

FEY, R., CONTRO, M. U., MATOS, M. M., SCHULZ.G. D.; LOPES DRANSKI, J.A., Relações interdimensionais e produtividade de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em sistema silvipastoril. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina (PR), v. 35, n.2, p. 613-624. 2014.

FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Determinação do peso do desbaste para florestas

de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, com base no índice de espaçamento relativo. **Ciência Florestal**, Santa Maria (RS), v.9, n.1, p. 79-87. 1999.

FRIGOTTO, T. Seleção de espécies/procedências e propagação vegetativa de *Eucalyptus spp.* na região Norte de Santa Catarina. Dissertação (Mestre em Engenharia Florestal). 94f. Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2016.

GONÇALVES, M. D. P. M. Avaliação socioeconômica e ambiental de sistemas de produção de *Mimosa scabrella* Benth e de *Pinus taeda* (L.). Dissertação (Mestre em Ciências Florestais). 153f. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2011.

HESS, A. F.; CIANORSCHI, L.; SILVESTRE, R.; SCARIOT, R.; RICKEN, P. Aplicação dos modelos lineares generalizados para estimativa do crescimento em altura. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 427-433, 2015.

IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro: Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 92p. (Manuais Técnicos em Geociências, n.1). 1992.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2009. Disponível em: <http://bancodedados.cptec.inpe.br/climatologia/Controller>. Acesso em: 14/12/2016.

JUVENAL, T. L.; MATTOS, R. L. G. O setor Florestal no Brasil e importância do reflorestamento. Rio de Janeiro -RJ: [s.n.], 2002.

KAPS, M., LAMBERSON, W. R. **Biostatistics for Animal Science.** CABI Publishing, London, UK. 459p. 2004.

KLEIN, D. R. Morfometria e crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no Planalto Sul Catarinense. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). 122f. Universidade do Estado de Santa Catarina. 2017.

KLEIN, R.M. Ecologia da flora e vegetação do Vale do Itajaí. **Sellowia**, Itajaí, v.31, 164p. 1979.

KOBIYAMA, M., CHECCHIA, T., CORSEUIL, C. W., LINO, J. F. L., LOPES, N. H. Y., GRISON, F., CHAFFE, P. L.B., MALUTTA, S., RIBAS JUNIOR, U., LANGA, R., BASSO, S. Forest hydrology project (UFSC MOBASA) for water resources management in Rio Negrinho City, Santa Catarina, Brazil. IAHS-AISH Publication,

v. 315, p. 250-257. 2007.

LANG, A.C, W, HÄRDTLE, H BRUELHEIDE, C GEIBLER, K NADROWSKI, A SCHULDT, M YU, G VON OHEIMB. Tree morphology responds to neighbourhood competition and slope in species-rich forests of subtropical China. **Forest Ecology and Management**. v.260, p. 1708-1715, 2010.

LEE, Y.; NELDER, J.A.; PAWITAN, Y. **Generalized linear models with random effects**: Unified analysis via H-likelihood. London: Chapman & Hall, 2006. 396 p.

LEITE, F. P. **Crescimento, relações hídricas, nutricionais lumínicas em povoamentos de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). 90f. Universidade Federal de Viçosa. 1996.

LOIOLA, T. M.; **Manejo da paisagem em fragmentos de floresta de araucária no sul do Brasil com base no incremento diamétrico**. Dissertação (Mestrado Engenharia Florestal). 136f. Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages – SC. 2016.

LOUREIRO, G. H. **Diagrama de manejo da densidade para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). 72f. Universidade Federal do Paraná. 2013.

MENDONÇA, A. R.; CARVALHO, S. de P. C.; CALEGARIO, N. Modelos hipsométricos generalizados mistos na predição da altura de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 1, p. 107-115, 2015

MONTEIRO, R. F. R.; CORDEIRO, A. C. Ensaio de competição entre espaçamentos em *Pinus taeda*. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4, 1983, Belo Horizonte, **Anais...** Belo Horizonte: SBS/SBEF, 1993, p. 357-360.

MORAIS, V. M. **Dinâmica de crescimento de eucalipto clonal sob diferentes espaçamentos, na Região Noroeste do estado de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). 63f. Universidade Federal de Lavras, 2006.

ORELLANA, E.; KOEHLER, A. B.; Relações morfométricas de *Ocotea odorifera* (Vell) Rohwer. **Revista Acadêmica Ciência Agrárias e Ambientais**, Curitiba (PR), v. 6, n. 2, p. 229-237, 2008.

PELTZER, D.A.; KÖCHY, M. Competitive effects of grasses and woody plants in mixed-grass prairie. **Journal of ecology.** v. 89, p. 519- 527, 2001.

PRETZSCH H.; BIBER P.; SCHUTZE G.; UHL E. E ROTZER T. Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. **Nature Communications.** v. 5, p. 4967, 2014.

RICKEN, P. **Incremento, espaço horizontal e competição em povoamento natural de Araucaria angustifolia no Planalto Catarinense.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). 105f. Universidade do Estado de Santa Catarina. 2014.

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

ROVEDA, M.; DALGALLO, B.; DIAS, A. N.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MULLER, C. S. Morfometria de Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze na Floresta Nacional de São Francisco de Paula - RS. In: IV Congresso Florestal Paranaense, 2012, Curitiba. IV Congresso Florestal Paranaense, 2012

SANQUETTA, C.R., BEHLING, A., CORTE, A.P.D., FERNANDES, A.C., BECKERT, S.M.; SIMON, A.A., Equações para estimativa do diâmetro de copa para acácia-negra. **Floresta e Ambiente;** v. 21, n.2, p.192-205 2014.

SANQUETTA, C.R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C.R. (Ed.). **As florestas e o carbono.** Curitiba: UFPR, 2002. p.119-140.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; CÔRTE, A. P. D.; FERNANDES, L. A. V.; SIQUEIRA, J. D. P. **Inventários Florestais: Planejamento e Execução.** 2 ed. Curitiba: Mult-Graphic, 2009. 316p.

SANTA CATARINA (Estado) - Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral subchefia de Estatística, Geográfica e Informática (GAPLAN). **Atlas de Santa Catarina.** Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 1986, 176p.

SANTOS, A. F. A. **Desempenho silvicultural de clones de *Eucalyptus* em duas regiões do estado de Mato Grosso.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais). 54f. Universidade Federal do Mato Grosso, 2015.

SCHNEIDER, P.R.. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal.** 2. ed. Santa Maria: UFSM,CEPEF, 1998. 236 p.

SCHNEIDER, P. R., FINGER, C. A. G, SCHNEIDER, P. S.P, FLEIG, F.D, CUNHA, T. A. Influência do espaçamento no autodesbaste de povoamento monoclonal de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 119-126, 2015.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal.** Santa Maria: FACOS-UFSM, 2009. 294 p.

SELLE, G. L. **Guias de densidade e índices de sítios para *Hovenia dulcis* Thunberg na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). 110f. - Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; SILVA, A.A.; PRADA NETO, I., PAULA, R. C. Mortalidade, crescimento e solução do solo em eucalipto com aplicação de fertilizante de liberação lenta. **Cerne**, v.21, n.3, p.473-481. 2015.

SOARES, T. S.; CARVALHO, R. M. M. A.; VALE, A. B. do. Avaliação econômica de um povoamento de *Eucalyptus grandis* destinado a multiprodutos. **Revista Árvore**, v. 27, n. 5, p. 689–694, 2003.

SOUZA, K. M. M. **Modelos Lineares Generalizados e modelos de dispersão aplicados à modelagem de sinistros agrícolas.** Dissertação (Mestrado em Ciências). 66f. Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”. 2010.

SPIECKER, H. **Análise do crescimento florestal:** a concorrência e sua importância no desbaste. Curitiba, FUPEF, 1981, 62p. (Série Técnica, 8).

STERBA, H. **Forstliche Ertragslehre.** Wien: Universität für Bodenkultur, 1992. 160p. (Heft, 4).

VUADEN, E. **Morfometria e incremento de *Cwordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. na região central do Rio Grande do Sul.** 2013. 102 f. Tese (Doutorado Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2013.

WADSWORTH, F. **Producción forestal para America Tropical.** Washington: USDA, 2000, 602 p.

WEBER, V. P. **Relação Morfométrica e de Competição no Crescimento de *Ocotea porosa* (Nees et Martius ex Nees) Liberato Barroso na região central de Santa Catarina.** 2013. 101 f. Tese (Doutorado Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 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 (SP). v.40 n. 93. p. 57-67. 2012.

CAPÍTULO 3

MODELAGEM DE RELAÇÕES FORMA-DIMENSÃO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE E IDADE PARA *Eucalyptus dunnii* Maiden EM RIO NEGRINHO / SC

RESUMO

A modelagem de relações forma-dimensão em função da densidade e idade é de extrema importância para o planejamento da produção florestal. Através da qual intervenções silviculturais podem ser determinadas de maneira à auxiliar no controle da competição e manutenção da estrutura do povoamento. Assim, o objetivo desse trabalho foi relacionar e ajustar o diâmetro de copa e grau de esbeltez em função da densidade, e grau de esbeltez em função da idade e diâmetro à altura do peito para povoamentos de *Eucalyptus dunnii* em Rio Negrinho, Santa Catarina. Para tanto, foram alocadas 47 parcelas de 400m² cada, sendo que em 20% das árvores de cada parcela mensurou-se a circunferência à altura do peito (*CAP*), altura total (*h*), e quatro raios de copa (*Rc*), do restante mediu-se apenas o *CAP*. Com essas variáveis, determinaram-se: o diâmetro à altura do peito (*DAP*), o diâmetro de copa (*dc*), o grau de esbeltez (*GE*) e o número de árvores por hectare (*Nr/ha*). Na análise de covariância testou-se a diferença existente entre nível e inclinação das relações entre *GE* e *dc* em função do *Nr*, sendo constatada diferença para as três idades. Para o ajuste das equações se utilizou os Modelos Lineares Generalizados, sendo as análises processadas no Software SAS 9.3. As equações ajustadas foram: *GE* e *dc* em função do *Nr* e *GE* em função de *DAP* e idade, que possibilitou a construção da série cronológica $GE=114,0994+0,3049*DAP+5,7760*idade$ para análise da mudança dessa variável no tempo. A modelagem apontou que nas diferentes idades a melhor distribuição foi a gama com ligação identidade. Os resultados demonstram que os índices morfométricos e sua interação com densidade e idade indicam a necessidade de intervenções silviculturais.

Palavras-chave: Morfometria; Séries cronológicas; Mensuração florestal.

CHAPTER 3

MODELING OF RELATIONS DIMENSION-FORMED DENSITY AND AGE FOR *Eucalyptus dunnii* Maiden IN RIO NEGRINHO / SC

ABSTRACT

The modeling of form-dimension relations in function of density and age is of extreme importance for the planning of forest production. Through which silvicultural interventions can be determined in a way that helps in controlling the competition and maintaining the settlement structure. Thus, the objective of this work was to relate and adjust crown diameter and degree of slenderness as a function of density, and degree of slenderness according to age and diameter at breast height for *Eucalyptus dunnii* stands at Rio Negrinho, Santa Catarina State. For this purpose, 47 plots of 400 m² each were allocated, and in 20% of the trees of each plot the circumference at the height of the chest (*CAP*), total height (*h*), and four crown rays (*rc*) were measured, remaining only *CAP* was measured. With these variables, diameter at breast height (*DAP*), crown diameter (*dc*), degree of slenderness and number of trees per hectare (*Nr / ha*) were determined. In the covariance analysis, the difference between the level and slope of the relationships between *GE* and *dc* as a function of *Nr* was tested, with a difference for the three ages. For the adjustment of the equations we used the Generalized Linear Models, and the analyzes were processed in SAS 9.3 Software. The adjusted equations were: *GE* and *dc* as a function of *Nr* and *GE* as a function of *DAP* and age, which made it possible to construct the chronological series $GE = 114.0994 + 0.3049 * DAP + 5.7760 * \text{age}$ to analyze the change variable in time. The modeling showed that in the different ages the best distribution was the range with identity bonding. The results show that morphometric indices and their interaction with density and age indicate the need for silvicultural interventions.

Keywords: Morphometry; Chronological series; Forest measurement.

3.1 INTRODUÇÃO

Estudos sobre tamanho e forma das árvores são importantes, pois permitem descrever relações interdimensionais, a partir das quais é possível reconstituir o espaço ocupado por cada árvore, inferindo sobre o grau de competição de um povoamento (DURLO e DENARDI, 1998.; ROMAN et al., 2009). Conhecer essas relações e acompanhar suas modificações ao longo dos anos torna-se essencial para que o manejo aplicado a determinado povoamento seja eficaz. Para tanto, de acordo com Pretzch (1995), as relações formadimensão devem compor os modelos de concorrência e crescimento, com o intuito de facilitar o entendimento sobre os plantios florestais.

No atual estágio de desenvolvimento que se encontra o manejo de espécies florestais exóticas, o conhecimento das inter-relações associadas com o número de árvores por hectare e com a idade, torna-se uma ferramenta diferenciada no mercado. Segundo Schneider et al. (2009), com essa ferramenta pode-se antecipar intervenções de desbastes, aplicadas com intensidade adequada, em função da capacidade produtiva do sítio e da velocidade de crescimento da espécie.

Entre as dimensões morfométricas, o diâmetro de copa expressa a capacidade fotossintética e de transpiração de indivíduos arbóreos. Evidencia-se ainda, que essa variável indica o desempenho de uma árvore na competição por recursos e espaço (LEITE et al., 2012). Entretanto, não existe um padrão de forma para copa, sendo que algumas espécies têm copas estreitas e alongadas, bem esbeltas, ocupando pequenas áreas de projeção horizontal, enquanto outras, copas curtas, porém cobrindo áreas maiores. Dessa maneira, conhecer as dimensões e o ritmo de alteração da copa das árvores é pré-requisito para a modelagem da concorrência e do crescimento de povoamentos florestais (DURLO et al., 2004).

A razão entre a altura e o diâmetro à altura do peito, conhecida como grau de esbeltez, serve como um índice de estabilidade da árvore, de competição e indicador de intervenção silvicultural. Menores valores para o grau de esbeltez indicam uma copa mais longa, baixo centro de gravidade e um melhor desenvolvimento do sistema radicular. Já, árvores com valores mais elevados são mais suscetíveis a danos do vento (EGUAKUN e OYEBADE, 2015). Tonini e Arco verde (2005) afirmaram que quando o grau de esbeltez é superior a 1, significa que o crescimento em diâmetro se encontra reduzido em relação à altura.

Com base nas informações anteriores, nota-se que tanto o diâmetro de copa, como o grau de esbeltez são variáveis úteis para descrever a necessidade de intervenções silviculturais, com a finalidade de manter e melhorar o desenvolvimento de um povoamento florestal equiâneo (BECHTOLD, 2003). Lazarin (2016) destacou que alterações no crescimento das árvores, são influenciadas pelo tempo e densidade, e refletidas pelas variações no tamanho e na forma das árvores. Em função disso, conforme Sanquetta et al., (2014) o diâmetro da copa e grau de esbeltez podem ser considerados como subsídio básico na estimativa de outras variáveis, e também como variável dependente na determinação de modelos matemáticos.

O problema constatado é que mesmo existindo trabalhos sobre índices morfométricos, ainda há carência de dados que indicam ao mesmo tempo o valor ideal para as relações morfométricas de cada espécie, idade, densidade e sítio (LOIOLA, 2016). Fato esse que resulta no emprego generalizado de modelos matemáticos, muitas vezes impróprios para determinada situação, deixando o povoamento florestal vulnerável a erros no planejamento e execução do manejo.

Diante do exposto, o objetivo do presente estudo foi relacionar e ajustar diâmetro de copa e grau de esbeltez em função da densidade, e grau de esbeltez em função do diâmetro à altura do peito e idade; afim de conhecer o período de intervenções necessárias de acordo com as mudanças do crescimento em dimensão e forma para povoamentos de *Eucalyptus dunnii* Maiden. em Rio Negrinho, Santa Catarina.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Caracterização da área de estudo

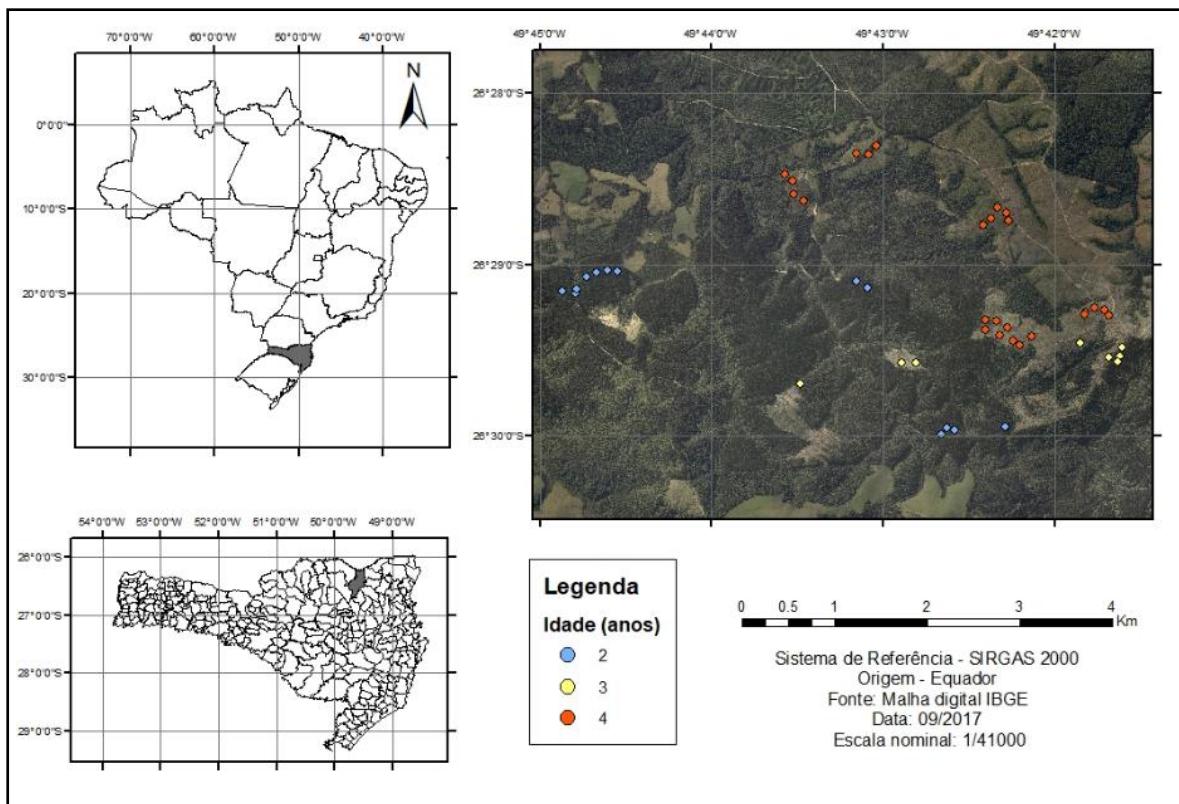
O presente trabalho foi realizado no município de Rio Negrinho (Latitude -26° 15' 16" e Longitude - 49° 31' 06", com altitude variando entre 800m e 1.200m) localizado no Alto Vale do Rio Negro na microrregião do Planalto Norte catarinense (INPE, 2009) (Figura 1). Para tanto, foram utilizadas áreas experimentais com plantios de *E. dunnii* com idades entre 2 e 4 anos de uma empresa florestal, que utiliza os mesmos para finalidade energética.

De acordo com Bognola (2007) Rio Negrinho está inserido no extremo Norte do estado, tendo como fronteira o estado do Paraná, e situando-se entre a Serra do Mar e o Patamar de Mafra. O relevo da região é quase plano, constituído de maneira predominante

por superfície colinosa. Kobiyama et al., (2007) relataram que a geologia é formada por rochas sedimentares paleozoicas.

Os solos da área são classificados como Cambissolos Húmicos Alumínicos típicos ou lépticos, com textura argilosa (BOGNOLA, 2008). Sendo esses caracterizados por apresentarem as seguintes características: pH: 4,28, Índice SMP:4,20, Ca⁽²⁾ (cmolc.d⁻³):0,88, Mg⁽²⁾ (cmolc.d⁻³):0,76, Al⁽²⁾ (cmolc.d⁻³): 4,64, P Mehlich⁽²⁾ (mg [.dm-3]): 0,72, K⁽²⁾ (cmolc dm⁻³): 73,80, MO (%):3,45, CTC (cmolc dm⁻³): 6,46, CTC pH 7,0 (cmolc.d⁻³): 36,32, Saturação por bases (%): 5,00, Saturação por Al (%): 71,84 e Argila (g kg⁻¹): 18,50 (FRIGOTTO, 2016).

Figura 1: Parcelas em florestas plantadas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. Em Rio Negrinho, SC.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2017).

Os dados utilizados no presente estudo são provenientes de povoamentos florestais instalados em dezembro dos anos de 2011, 2012 e 2013, os quais foram mensurados início de 2016, possuindo na época de coleta de dados 2, 3 e 4 anos de idade. Os indivíduos eram provenientes de mudas clonais de *E. dunnii*, denominado clone 7003.

Na implantação desses povoamentos as áreas sofreram preparo de solo pelo método do cultivo mínimo, isto é, com subsolagem de até 0,4 m de profundidade, realizada no espaçamento de 3,0m, sendo que, o plantio possuía espaçamento padrão de 3 x 2m (1.667 mudas por hectare). Juntamente com a subsolagem foi realizada a fosfatagem.

A adubação fosfatada foi realizada com Fosfato Natural Reativo de Arad ou Gafsa, com 28% de fósforo total, no valor de 0,4t/ha. A adubação foi distribuída no sulco principal do plantio a uma profundidade de 0,30 à 0,40 cm, na profundidade da subsolagem. A calagem foi realizada com 4 t/ha.

O uso de NPK ocorreu da seguinte maneira:

- Plantio (6 - 30 - 6): Utilizaram-se 10 sacas de 50 kg/ha e ocorreu em duas fases, para que não fossem causados danos as mudas. A primeira aplicação foi de 05 a 10 dias após o plantio, com incorporação em dois pontos distintos a mais ou menos 10 cm da muda, 50g por ponto, ou seja, 100g na primeira aplicação.
- Segunda aplicação (6 - 30 - 6): Utilizaram-se 200g/planta, 90 dias após o plantio, ou quando a planta atingiu de 1,0 a 1,50m de altura em três pontos distintos ao redor da muda a distância de 0,50cm, também de forma incorporada.
- Terceira aplicação (20 - 0 - 20): Utilizaram-se 10 sacas/ha desta formulação para suprir o restante de nitrogênio e potássio. Esta formulação foi aplicada a lanço, a uma distância de 1,0m da planta. A mesma ocorreu no final do segundo ano após o plantio. Juntamente com o restante do calcário.

O plantio foi realizado manualmente sobre as linhas subsoladas, tendo sido realizados os tratos culturais comumente utilizados, como: roçada mecanizada ao final do primeiro ano após plantio e combate a formiga.

O clima da região é classificado como Cfb, ou seja, Temperado Úmido Mesotérmico, sem estação seca definida, com temperaturas médias anuais de 17°C, chegando no mês mais frio a -3°C e no mês mais quente não ultrapassando 22°C (ALVARES, 2014).

A flora da região pertence ao Bioma Mata Atlântica, inserindo-se entre as unidades Fitogeográficas de Floresta Ombrófila Mista e Floresta Ombrófila Densa. Sendo assim, a formação florestal possui exemplares das duas unidades, podendo-se citar a presença de: *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. kuntze, *Ocotea porosa* Nees et Martius Ex Nees, *Nectandra lanceolata* Ness. Et Mart. Ex Nees, *Ilex paraguariensis* St. Hil, *Ocotea odorifera*

(Vell.) Rohwer, *Aspidosperma olivaceum* Müll.Arg, *Alchornea triplinervea* (Spreng.) Müll.Arg., *Virola bicuhyba* (Schott Ex Spreng.) Warb, entre outras (KLEIN, 1979; SANTA CATARINA, 1986; IBGE, 1992).

No entanto, com o passar do tempo, a região passou por diversas ações antrópicas fazendo com que a formação florestal ficasse restrita a remanescentes (GONÇALVES, 2011). Além disso, a região encontra-se intensamente cultivada com plantios florestais homogêneos, principalmente dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, que são explorados para finalidades energética e moveleira.

3.2.2 Instalação de Unidades Amostrais

Para a obtenção dos dados, realizou-se a amostragem aleatória simples, através da instalação de unidades amostrais temporárias, com a instalação de parcelas quadrangulares de 400m². Para tanto, em cada idade dependendo da área total de plantio, foi determinado o número de unidades amostrais avaliando-se a suficiência amostral necessária para abranger a variabilidade dos talhões, conforme equação 1 (SANQUETTA et al., 2009):

$$n = \frac{t^2 S_x^2}{E^2} \quad (1)$$

Onde: n = número de unidades amostrais a ser medido; t^2 = valor de t de student tabelado; S_x^2 = variância; E = ($LE * \bar{x}$); LE = limite do erro de amostragem admitido (10%), \bar{x} = média aritmética dos valores observados.

Dessa maneira foram instaladas 47 parcelas, distribuídas conforme estrutura apresentada pela Tabela 1:

Tabela 1 - Número de unidades amostrais coletadas em cada idade, e total de unidades. Rio Negrinho, 2017.

Idade – anos	Área (ha)	Número de unidades amostrais
2	64,8	13
3	44,6	9
4	123,3	25
Total	232,7	47

Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

3.2.3 Obtenção das variáveis morfométricas e dendrométricas

Para cada árvore da unidade amostral foram mensuradas as seguintes variáveis:

- Circunferência à altura do peito (CAP): obtida com o auxílio de uma fita métrica, em centímetros, a uma altura de 1,30m do solo. Posteriormente determinou-se o diâmetro à altura do peito (*DAP*) em centímetros por meio da fórmula 2:

$$DAP = CAP / \pi \quad (2)$$

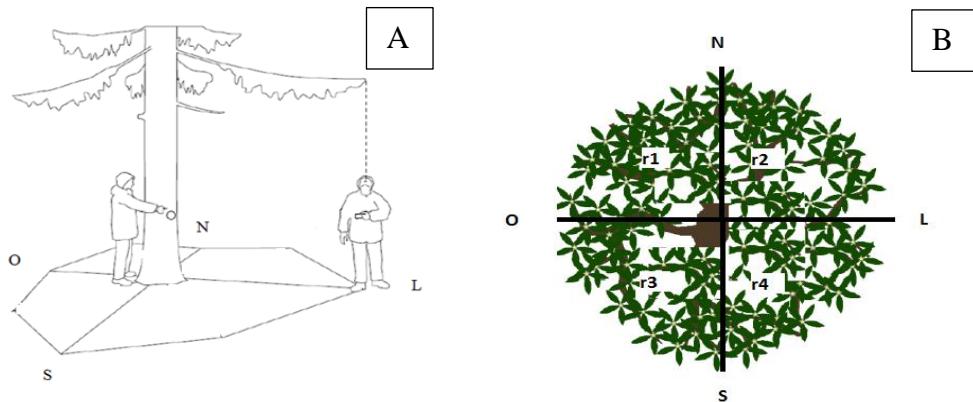
Onde: *DAP*: diâmetro à altura do peito (cm); *CAP*: circunferência à altura do peito (cm).

Para 20% das árvores de cada parcela, além do *CAP*, foram obtidas as seguintes variáveis:

- Altura total (*h*): medida em metros, do solo até o topo da árvore, obtida com hipsômetro TruPulse.

- Raios de copa (*rc*): foram obtidos quatro raios de copa, em metros, nas seguintes direções fixas: Norte (N), Oeste (O), Sul (S) e Leste (L). Esse procedimento foi executado com o auxílio do hipsômetro TruPulse e da orientação de uma bússola. Visando a melhor orientação nas posições cardinais, uma pessoa ficou na árvore indicando o local certo onde a outra pessoa deveria se posicionar, como pode ser observado na Figura 2:

Figura 2- (A) - Método para obtenção dos quatro raios de copa; (B) - raios (*r*₁, *r*₂, *r*₃ e *r*₄) da projeção de copa obedecendo à orientação norte-leste-sul-oeste.



Fonte: (A) Pretzsch (2009) adaptado; (B) Weber (2013) adaptado.

- Diâmetro de copa (dc): foi determinado em metros, através da duplicação do raio de copa médio obtido com os quatro raios medidos a campo, conforme a equação 3:

$$dc = 2 * \overline{rc} \quad (3)$$

Onde: dc : diâmetro de copa (m); \overline{rc} : raio de copa médio (m).

- Grau de Esbeltez (GE): determinado em valor absoluto por meio da razão entre a altura total e o diâmetro à altura do peito, conforme equação 4:

$$GE = h / DAP \quad (4)$$

Onde: GE : Grau de esbeltez; h : altura total da árvore (m); DAP : diâmetro à altura do peito (m).

Para cada parcela calculou-se:

- Número real de árvores por hectare (Nr): determinado pelo produto resultante do número de árvores de 20% da parcela e área de um hectare, e a razão disso pela área ocupada por 20% dessas árvores, conforme equação 5.

$$Nr = n20\% * 10.000 / A20\% \quad (5)$$

Onde: Nr : número real de árvores por hectare (n/ha); $n20\%$: número de árvores de 20% da parcela; $A20\%$: área ocupada por 20% dessas árvores.

3.2.4 Análise de dados

Para a análise de dados, tornou-se necessário estimar através de ajuste de equação, os valores de altura total e diâmetro de copa para 80% das árvores amostradas e não mensuradas à campo. Para essa validação de dados, utilizou-se como variável independente o diâmetro à altura do peito, pois o mesmo foi obtido para todas as árvores analisadas. Como já apresentado no capítulo 2.

Para a relação entre grau de esbeltez com diâmetro à altura do peito e com idade, não foi empregada a análise de covariância, e sim uma série cronológica. De acordo com Wonnacott e Wonnacott (1980) amostras morfométricas em série cronológica podem ser

consideradas como amostra em pares de dados de altura e idade, que apresentam a vantagem de ter menor flutuação que amostras independentes.

Os dados para os ajustes de diâmetro de copa e grau de esbeltez em função do número real de árvores por hectare foram submetidos à análise de covariância, visando identificar a existência de diferenças de nível e inclinação para essas variáveis nas três idades estudadas (KAPS e LAMBERSON, 2004). Foram considerados o diâmetro de copa e grau de esbeltez como variáveis dependentes explicados por aspectos particulares da densidade ao longo do tempo. A aplicação do modelo proposto por Kaps e Lamberson (2004) incluindo o efeito do local e a regressão linear simples é mostrada pela equação 6:

$$y_{ij} = \beta_0 + \tau_i + \beta_1 x_{ij} + \sum_i \beta_{2i} (\tau^* x)_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (6)$$

Onde: $i = 1, \dots, a$; $j = 1, \dots, n$; y_{ij} = observação j no grupo i; τ_i = o efeito do grupo i; β_0 ,

Como as condicionantes de regressão (homogeneidade de variância, independência dos erros e distribuição normal dos resíduos) não foram atendidas para as variáveis: diâmetro à altura do peito e altura total, utilizou-se para o ajuste das equações a técnica dos Modelos Lineares Generalizados (MLG). Segundo Sousa (2010) nos Modelos Lineares Generalizados estão inclusos modelos cuja variável resposta pertence à família exponencial de distribuições.

Sendo assim, ao usar os MLG, ganhou-se maior flexibilidade para a relação funcional entre a média da variável resposta e o preditor linear. Na aplicação dos MLG, testaram-se dois campos aleatórios, Normal e Gama, utilizando-se as funções de ligação identidade e logarítmica.

A significância e ajustamento dos modelos foram observados em função do desvio do modelo, valor do critério de informação de Akaike (AIC), valor do critério de informação Bayesiano (BIC), dispersão dos resíduos e dispersão dos dados estimados em função dos dados observados.

Segundo Lee et al. (2006) e Weber (2013) o desvio do modelo, denominado também como *deviance*, consiste na distância entre o logaritmo da função de verossimilhança do modelo saturado e do modelo sob investigação avaliado na estimativa de máxima verossimilhança. Dessa forma, quanto menor o valor encontrado para o desvio, melhor foi considerado o ajuste.

No momento da escolha de um modelo Cordeiro e Lima Neto (2006) e Ricken (2014) enfatizaram que a análise gráfica dos resíduos é muito importante na avaliação da qualidade de ajustamento do mesmo. Além disso, a análise gráfica dos resíduos ajudar a identificar pontos irregulares, medindo o impacto dessas perturbações nas estimativas dos parâmetros. Evidencia-se ainda que através dos resíduos as discrepâncias entre os valores observados e seus valores ajustados podem ser avaliadas.

O AIC e o BIC, representam a ausência de generalidade do modelo e penalizam tanto a falta de ajuste aos dados quanto a alta complexidade do modelo. Sendo assim, foram considerados os menores valores de ambos os critérios na definição dos melhores ajustamentos dos modelos (AKAIKE, 1981). A medida AIC foi definida pela equação 7 e o BIC pela equação 8.

$$AIC = -2[\log(L) - p] \quad (7)$$

Onde p é o número de parâmetros do modelo, e L é o valor da verosimilhança para o modelo estimado.

$$BIC = -2[\log(L) - p \log n] \quad (8)$$

Onde p é o número de parâmetros do modelo, L é o valor da verosimilhança para o modelo estimado e n é o número de observações.

As relações e interações construídas, assim como a série temporal foram plotadas e analisadas graficamente, para indicar o adequado momento de intervir silviculturalmente nos povoamentos. Para tanto levaram-se em consideração as alterações nos valores de diâmetro de copa e grau de esbeltez, acompanhando as mudanças na dinâmica de estrutura de crescimento com o tempo. As análises estatísticas foram processadas no pacote estatístico *Statistical Analysis System* (SAS 9.3).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Série cronológica de grau de esbeltez

Séries de dados demonstrando o crescimento das árvores ao longo do tempo conseguem estimar o desenvolvimento de uma população sem perder sua representatividade.

Assim, pode-se prever o rendimento de sítios locais através de uma condição prévia para planejar a administração de povoamentos florestais (GARCIA, 1988).

Ao verificar a distribuição dos dados, constatou-se que os mesmos não apresentam distribuição normal e não atenderam as condicionantes de regressão. De acordo com Souza (1998) séries cronológicas normalmente têm distribuição não linear e o método ordinário de mínimos quadrados estima erroneamente o erro padrão. Além disso, deve-se considerar que estatísticas como o valor F de Fischer e t de Student podem apresentar tendenciosidade na análise de regressão de séries temporais. Portanto, o uso de MLG tornou-se o mais apropriado.

Com as árvores amostradas obteve-se a equação 9 para descrever o *GE* em função do *DAP* e idade. Dos campos aleatórios testados o melhor foi o gama, com função de ligação identidade, com valores de desvio de 42,4942, AIC de 8163,29 e BIC de 8182,25.

$$GE = 114,0994 + 0,3049 * DAP + 5,7760 * idade \quad (9)$$

Onde: GE: Grau de esbeltez e *DAP*: diâmetro à altura do peito (cm).

Conforme Binoti et al. (2013) a precisão das estimativas, é determinada pela escolha da função de distribuição de probabilidade (*fdp*), que melhor descreva os dados observados. Contudo, além de apresentar uma boa aderência aos dados, a *fdp* escolhida deve apresentar correlação significativa com parâmetros do povoamento, permitindo a recuperação dos mesmos em idades distintas.

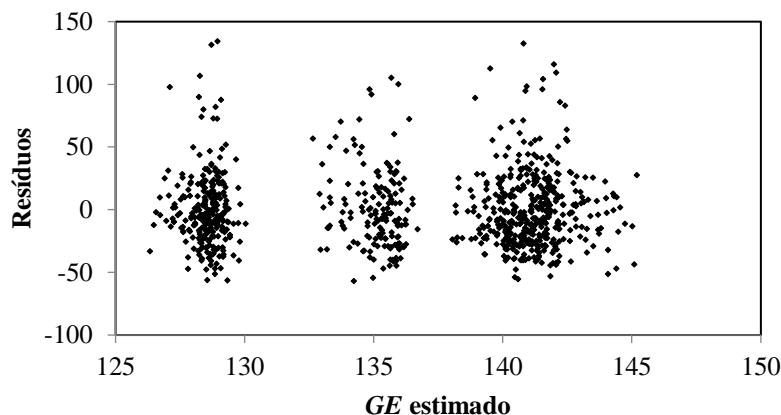
Nesse sentido, Borba (2014) relatou que a distribuição gama é uma boa aproximação da realidade quando não se tem normalidade dos resíduos, fato ocorrido no trabalho em questão. No entanto, segundo os autores no modelo da dispersão é comum essa modelagem tomar a função de ligação logarítmica, o que não corrobora o *GE* em função da idade deste trabalho.

Optou-se pela inclusão da variável *DAP* no modelo juntamente com a idade, pois a mesma, pode ser facilmente correlacionada com variáveis morfométricas, como já comprovado em trabalhos de Orellana e Koehler (2008); Sanquetta et al. (2011); Costa, (2011) e Sanquetta et al. (2014). Além disso, a correlação existente entre *DAP* e *GE* foi significativa conforme apresentado no capítulo 2 desse estudo. Ressalta-se ainda, que ao incluir o *DAP* no modelo foi possível acompanhar a variação diamétrica dos povoamentos e

não somente a variação da idade, fazendo com que ocorresse uma representação ainda mais próxima da realidade biológica do povoamento.

Quando avaliados os resíduos expressos pela Figura 3, nota-se a formação de padrões, característica inerente às séries cronológicas de dados. Resultado esse que também foi constatado no trabalho de Floriano et al. (2006) que ajustaram modelos para série temporal de dados de altura de *Pinus elliottii* em Piratini, RS. Apesar dessa formação de padrões, a análise visual da distribuição residual, indica que os resíduos do ajuste da equação não apresentaram tendenciosidade, justificando o emprego da equação ajustada.

Figura 3 - Distribuição dos resíduos para o MLG da relação entre o grau de esbeltez com diâmetro à altura do peito e idade de povoamentos de *E. dunnii*, Rio Negrinho, SC.



Onde: GE: Grau de esbeltez.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2017).

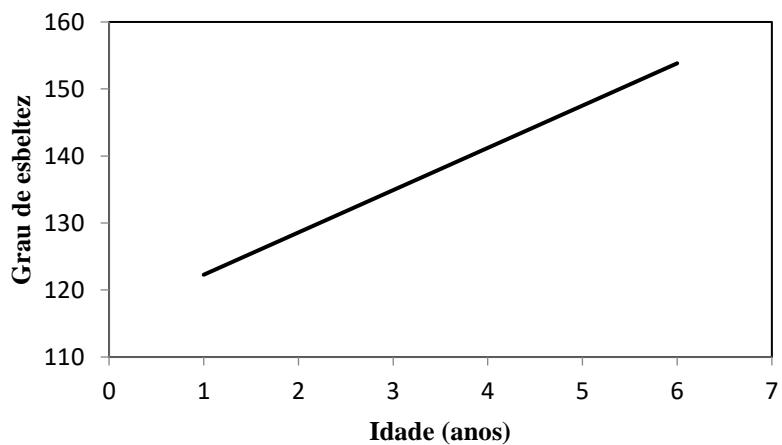
Na Figura 4, estão representados os valores estimados de GE para anos subsequentes. É possível constatar que os valores estimados, foram aumentando para cada idade analisada. O que demonstra que devido a densidade, competição e rápido crescimento do *E. dunnii*, as árvores investem mais no incremento em altura do que em diâmetro.

Evidencia-se que o GE estimado foi considerado alto, uma vez que segundo Seben et al. (2013) valores de GE acima de 100 indicam alta instabilidade da árvore, o que pode facilitar a envergadura da mesma sobre seu próprio peso, por outro lado, valores abaixo de 80 são característicos de indivíduos estáveis. Portanto, essa análise pode ser utilizada para indicar o grau de instabilidade que as árvores do povoamento em questão se encontram, servindo também como referência para desbastes.

Ao aplicar os critérios qualitativos de interpretabilidade e comprehensibilidade referente à série cronológica do *GE*, ressalta-se que a mesma pode ser empregada como inferência para densidade, concorrência por luz das árvores no povoamento e auxiliar na tomada de decisões referentes a intervenções silviculturais. Os resultados mostraram que com o passar do tempo o *GE* tende a aumentar e não diminuir, o que faz com que o povoamento tenha maior investimento em altura do em diâmetro à altura do peito, ficando cada vez mais instável.

Com base nisso e associando resultados obtidos por Hess et al., (2016) ressalta-se que pode ser estipulado um valor limite para a relação entre *GE* e idade, indicando o período adequado para realização de intervenções que venham garantir o desenvolvimento e vitalidade do povoamento. Além disso, com essa delimitação de valores, é possível fazer predições de manejo florestal, através das quais evidencia-se a importância da inclusão dos índices morfométricos em análises cronológicas.

Figura 4 - Série cronológica para grau de esbeltez (*GE*) de povoamentos de *E. dunnii*, Rio Negrinho, SC.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2017).

Portanto, tomando como base as características apresentadas pelas relações atuais entre morfometria e idade e visando um povoamento com maiores dimensões, deve-se regular as densidades, por meio de desbastes, permanecendo assim, devido à dinâmica de crescimento, um menor número de indivíduos até o momento da colheita. No entanto, apenas a construção de séries cronológicas para *GE* não é suficiente para determinação do momento adequado para que desbastes sejam realizados. Dessa maneira, pode-se afirmar que relações

entre a copa e a densidade do povoamento, também devem ser consideradas, pois auxiliam ainda mais nas tomadas de decisões.

3.3.2 Modelagem de relações forma-dimensão em função da densidade

A correta regulação da densidade é a chave para uma boa condução do povoamento em conformidade com os objetivos planejados, possibilitando previsões futuras sobre o mesmo (RESTLAFF, 2016). Ao longo dos anos, os pesquisadores vêm buscando desenvolver ferramentas baseadas em modelos matemáticos, incorporando a estes, conceitos biológicos. Como por exemplo, a competição, que por sua vez é baseada nas inúmeras relações de densidade e tamanho das árvores. Sendo assim, com a utilização de relações dendrométricas, torna-se possível construir importantes cenários de desenvolvimento de um plantio que visam auxiliar sua condução (SCHNEIDER et al., 2009).

Segundo Navarro e Myung (2004) a qualidade de um modelo depende de sua interpretabilidade e de sua plausibilidade global. Isso implica em julgamentos inherentemente subjetivos, mas não menos importantes. Ainda de acordo com os autores, não há nenhum substitutivo para avaliações pessoais e para o bom-senso, pois é crucial reconhecer a população amostrada afim de se avaliar a capacidade ou não de um modelo representar a mesma. O que justifica o emprego da relação entre *GE* e *Nr* que apresentou baixo valor para coeficiente de determinação, no entanto, consegue explicar de maneira eficiente o desenvolvimento do povoamento.

Para a relação em questão, detectou-se diferença tanto de nível como inclinação da linha de regressão para idade e interação *Nr**idade, com probabilidade ($p<0,0001$). A análise de covariância para a relação do *dc* em função do *Nr* também demonstrou a existência de diferença de nível e inclinação para cada idade analisada (Tabela 2).

Tabela 2 - Análise de covariância das relações entre *dc*- *Nr* e *GE* – *Nr* para *E. dunnii* em Rio Negrinho, SC.

R²:		0,303716			
		FV	GL	SQ	QM
<i>dc</i>	Modelo	6		6096,8536	1016,1422
	Idade	3		6094,3987	2031,4662
	<i>Nr</i> *idade	3		2,4549	0,818316
	Erro	840		428,9977	0,510712
	Total	846		6525,8514	-
R²:		0,059877			
		FV	GL	SQ	QM
<i>GE</i>	Modelo	6		15738397,30	2623066,22
	Idade	3		15711228,80	5237076,27
	<i>Nr</i> *idade	3		27168,50	9056,17
	Erro	841		851139,21	1012,06
	Total	847		16589536,52	-

Onde: *dc*: diâmetro de copa; *GE*: grau de esbeltez; *Nr*:Número real de árvores/ha. R²: coeficiente de determinação; FV: fonte de variação; gl: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: valor de F; Prob.>F: significância da probabilidade F.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2017).

Assim, comprovada a necessidade de regressão para cada idade de estudo, as equações para *dc* e *GE* em função de *Nr* são descritas pelas expressões apresentadas na Tabela 3. Nota-se que para as duas relações nas três idades, o modelo que apresentou melhor desempenho foi o Gama Identidade.

Tabela 3 - Valores dos ajustes de MLG relações entre *dc*- *Nr* e *GE* – *Nr* para *E. dunnii* em Rio Negrinho, SC.

Modelo	Idade	Parâmetros		Dist.	FL	AIC	BIC	Desvio
		b0	b1					
<i>dc</i> - <i>Nr</i>	2	2,8122	0,0001	Gama	Id.	581,20	588,30	15,7558
	3	5,0586	-0,0012	Gama	Id.	340,14	346,24	7,6131
	4	2,4406	-0,0002	Gama	Id.	764,92	772,98	33,8893
<i>GE</i> - <i>Nr</i>	2	92,0955	0,0209	Gama	Id.	2492,56	2501,19	12,2746
	3	92,7938	0,0298	Gama	Id.	1627,331	1635,956	12,1824
	4	76,2222	0,0449	Gama	Id.	3988,356	3996,412	16,6408

Onde: *dc*: diâmetro de copa; *GE*: grau de esbeltez; *Nr*:Número real de árvores/ha. Dist: Distribuição; FL: Função de ligação; B₀: coeficiente linear; B₁: coeficiente angular; AIC: critério de Akaike; BIC: critério bayesiano.

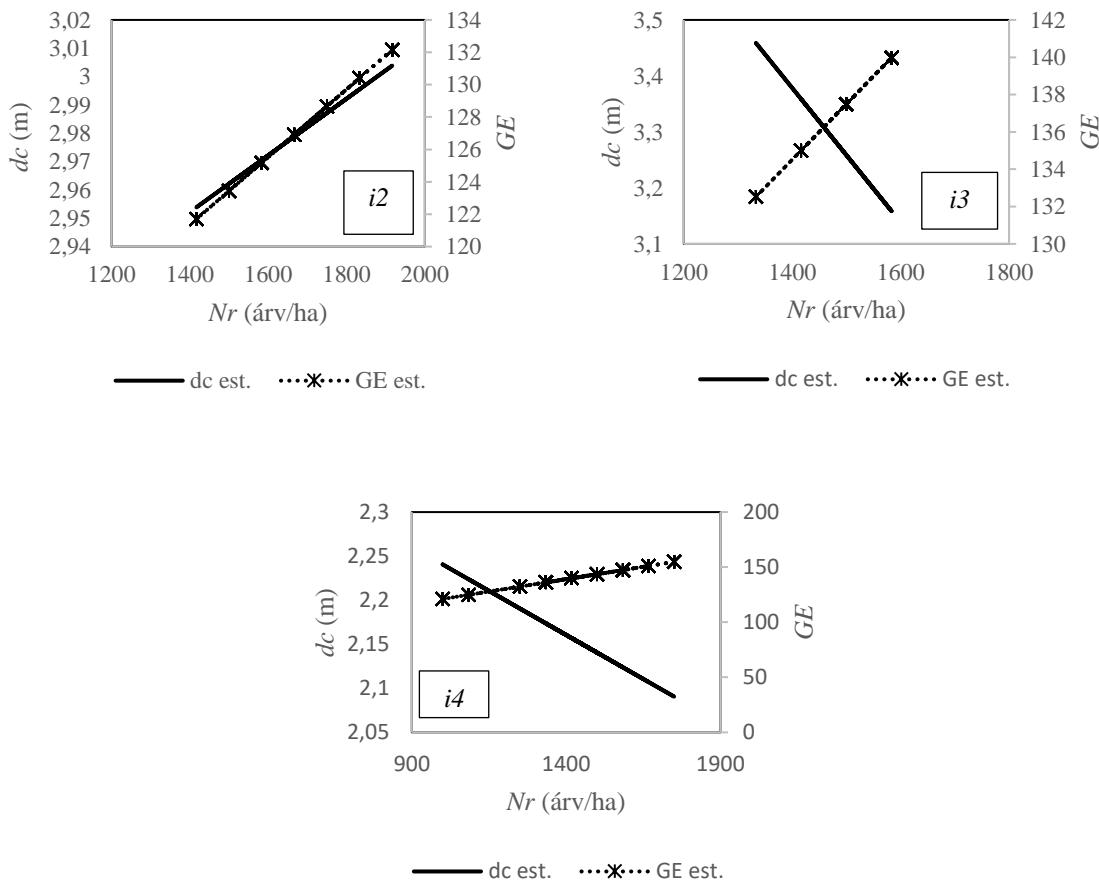
Fonte: Elaborado pela própria autora (2017).

Com a determinação do *dc* foi possível estimar a ocupação das copas e a densidade correspondente aos diâmetros para as idades de estudo. As relações das variáveis

morfométricas com Nr demonstram através da Figura 5, que o comportamento do GE e dc não é o mesmo nas três idades analisadas.

Nota-se que quanto maior o número de árvores maiores os valores de GE e dc para povoamentos com dois anos de idade. Já nos plantios com três e quatro anos um maior valor do Nr corresponde ao aumento para o GE e redução de dc . Sendo assim, a interação entre as variáveis torna-se inversamente proporcional, resultado que coincide com o trabalho de Loiola (2016) com *Araucaria angustifolia* no Sul do Brasil que concluiu que o povoamento se encontrava em condições de competição.

Figura 5 - Relações morfométricas e sua interação com o número de árvores por hectare para as idades de 2 ($i2$), 3 ($i3$) e 4 ($i4$) anos de povoamentos de *E. dunnii*, Rio Negrinho, SC.



Onde: dc : diâmetro de copa; GE : grau de esbeltez; Nr : Número real de árvores/ha. Est: estimado.
Fonte: Elaborado pela própria autora (2017).

Do segundo para o terceiro ano de idade, os valores de dc diminuíram. Isso fica evidente, quando se percebe que o coeficiente angular da relação entre dc e Nr passa a ser

negativo. O sinal negativo do coeficiente b evidencia que o dc decresce à medida que aumenta o número de árvores. No entanto cabe avaliar se essa redução de dc ocorre em função da competição, ou é uma característica intrínseca do melhoramento genético, e por conseguinte da espécie.

Gustafson et al. (2004) relataram que menores dimensões de copa podem ter relação com indivíduos que obtiveram elevada taxa de crescimento e capacidade de sobressair da competição por recurso e espaço. No entanto, também pode ser um indicativo que as plantas no início de sua formação em estrutura eram portadoras de elevada velocidade de emergência e de crescimento inicial. Sendo assim, uma alternativa metodológica para verificar se a redução do dc é uma questão botânica, ou resultado de concorrência, é aumentar o espaçamento inicial do plantio, ou seja, fazer com que a densidade inicial seja menor.

Referente ao GE nota-se que desde o segundo ano até o quarto, ele tende a aumentar, sendo reflexo da densidade e concorrência por luz, uma vez que, as árvores cresceram mais em altura do que em diâmetro à medida que a densidade aumenta. De acordo com Adeyemi e Adesoye (2016) esse resultado indica menor estabilidade dos indivíduos pois GE tende a decrescer, como explicado anteriormente.

Percebe-se que o GE expressa o desempenho de uma árvore, sendo assim, seus valores são considerados reflexos dos recursos disponíveis para um povoamento. Portanto, levando em consideração os resultados obtidos, percebe-se que desbastes devem ser realizados.

As informações obtidas revelaram que o estudo das relações entre as variáveis morfométricas é uma importante ferramenta para determinação do momento adequado para realização de intervenções silviculturais. Além disso, Cunha e Finger (2013) relataram que com o uso desses índices pode-se indicar a necessidade de raleio, e consequentemente de espaço para que as plantas se desenvolvam de maneira satisfatória.

3.4 CONCLUSÕES

As relações de diâmetro de copa e grau de esbeltez em função da densidade, e da série cronológica do grau de esbeltez demonstraram que intervenções silviculturais são imprescindíveis para que ocorra a manutenção de desenvolvimento dos povoamentos estudados.

No ajuste dos modelos pode-se observar a forte influência da competição nos indivíduos amostrados, sendo que a variação entre eles se refere as características de desenvolvimento na floresta, como espaço e as condições do sítio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEYEMI, A. A., ADESOYE, P. O. Tree slenderness coefficient and percent canopy cover in Oban Group Forest, Nigeria. **Journal of Natural Sciences Research**, v. 6, n.4, p.9-17. 2016.

AKAIKE, H. Likelihood of a model and information criteria. **Journal of Econometrics**. n.16, p.3-14, 1981.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v.22, n. 6, 2014, p.711–728.

BECHTOLD, W. A. Crown-diameter prediction models for 87 species of stand-grown trees in the Eastern United States. **South. Appl. For.** v.27, n.4, p. 269-278. 2003.

BINOTI, D.H.B., DA SILVA BINOTI, M.L.M., LEITE, H.G.; SILVA, A., Modelos de distribuição de diâmetros utilizando a função log gama. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n.73, p.103-107. 2013.

BOGNOLA, I.A.; RIBEIRO JUNIOR, P. J.; SILVA, E. A. A.; LINGNAU, C.; HIGA, A. R. Modelagem uni e bivariada da variabilidade espacial de rendimento de *Pinus taeda* L. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, 2008.

BOGNOLA, I. A. **Unidades de manejo para *Pinus taeda* L. no planalto norte catarinense, com base em características do meio físico.** 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2007.

BORBA, M. V. T. **Modelos Lineares Generalizados Duplos e Aplicações.** 46 f. Monografia (Bacharel em Estatística) – Universidade de Brasília, Brasília. 2014.

CORDEIRO, G.M. E LIMA NETO, E.A. **Modelos Paramétricos.** Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Estatística e Informática, 94p. 2006.

COSTA, E. A. **Influência de variáveis dendrométricas e morfométricas no incremento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, Lages, SC.** Dissertação (Mestrado). 148f. Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

CUNHA, T. A.; FINGER, C. A. G. Competição assimétrica e o incremento diamétrico de árvores individuais de *Cedrela odorata* L. Amazônia Ocidental. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 43, n. 1, p. 9 – 18, 2013.

DURLO, M. A.; DENARDI, L.; Morfometria de *Cabrela canjerana* em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria (RS), v. 8, n. 1, p. 55-66. 1998.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J.; DENARDI, L. Modelagem da copa de *Cedrela fissilis* Vellozo. **Ciência Florestal**, Santa Maria (RS), v. 14, n. 2, p. 79- 89, 2004.

EGUAKUN, F. S., OYEBADE, B. A. Linear and nonlinear slenderness coefficient models for *Pinus caribea* (Morelet) stands in southwestern Nigeria. **Journal of Agriculture and Veterinary Science**. v.8, n.3, p.26-30. 2015.

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

FRIGOTTO, T. **Seleção de espécies/procedências e propagação vegetativa de *Eucalyptus spp.* na região Norte de Santa Catarina**. Dissertação (Mestre em Engenharia Florestal). 94f. Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2016.

GARCIA, O. **Growth modelling : a (Re)view**. New Zealand Forestry, n. 33, p. 14-17, 1988.

GONÇALVES, M. D. P. M. **Avaliação socioeconômica e ambiental de sistemas de produção de *Mimosa scabrella* Benth e de *Pinus taeda* (L.)**. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais). 153f. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2011.

GUSTAFSON, D. J.; GIBSON, D. J. E NICKRENT, D.L. Competitive relationships of *Andropogon gerardii* (Big Bluestem) from remnant and restored native populations and select cultivated varieties. **Functional Ecology**. v. 18, p. 451-457, 2004.

HESS, A. F.; LOIOLA, T.; ARRUDA DE SOUZA, I.; NASCIMENTO, B. Morfometría de la copa de *Araucaria angustifolia* en sitios naturales en el sur de Brasil. **Bosque**. v.37, n.3, p.603-611. 2016.

IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro: Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 92p. (Manuais Técnicos em Geociências, n.1). 1992.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2009. Disponível em: <http://bancodedados.cptec.inpe.br/climatologia/Controller>. Acesso em: 14/12/2016.

KAPS, M., LAMBERSON, W. R. Biostatistics for Animal Science. CABI Publishing, London, UK. 459p. 2004.

KLEIN, R.M. Ecologia da flora e vegetação do Vale do Itajaí. **Sellowia**, Itajaí, v.31, 164p. 1979.

KOBIYAMA, M., CHECCHIA, T., CORSEUIL, C. W., LINO, J. F. L., LOPES, N. H. Y., GRISON, F., CHAFFE, P. L.B., MALUTTA, S., RIBAS JUNIOR, U., LANGA, R., BASSO, S. **Forest hydrology project (UFSC MOBASA) for water resources management in Rio Negrinho City, Santa Catarina, Brazil.** IAHS-AISH Publication, v. 315, p. 250-257. 2007.

LANZARIN, K. **Relações morfométricas e potencial de manejo de *Maclura tinctoria* (L.) d. Don ex. Steud em formações secundárias no Noroeste do Rio Grande do Sul.** 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). 77f. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS. 2016.

LEE, Y.; NELDER, J.A.; PAWITAN, Y. **Generalized linear models with random effects:** Unified analysis via H-likelihood. London: Chapman & Hall, 2006. 396 p.

LEITE, L.P.; ZUBIZARRETA-GERENDAIN, A.; ROBINSON, A. Modeling mensurational relationships of plantation – growth loblolly pine (*Pinus taeda* L.) in Uruguay. **Forest Ecology and Management.** v. 289, p.455- 462. 2012.

LOIOLA, T. M.; Manejo da paisagem em fragmentos de floresta de araucária no sul do Brasil com base no incremento diamétrico. Dissertação (Mestrado Engenharia Florestal). 136f. Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages – SC. 2016.

NAVARRO, D. J.; MYUNG, I. J. **Model evaluation and selection.** Columbus, USA: Ohio State University, Department of Psychology, 2004. 6p.

ORELLANA, E.; KOEHLER, A. B.; Relações morfométricas de *Ocotea odorifera* (Vell) Rohwer. **Revista Acadêmica Ciência Agrárias e Ambientais**, Curitiba (PR), v. 6, n. 2, p. 229-237, 2008.

PRETZSCH, H. **Forest Dynamics, Growth and Yield**. Berlin: Springer, 2009, 664p.

PRETZSCH, H. Perspektiven einer modellorientierten Waldwachstumsforschung **Forstwissenschaftliches Centralblatt**, v.14, p. 188-209. 1995.

RETSLAFF, F. A. S., FILHO, A. F., MACHADO, S. A., ARCE, J. E., JASKIU, E. Diagrama de manejo da densidade para *Pinus taeda* no estado do Paraná. **Floresta** v.46, n.2, p.185-195. 2016.

RICKEN, P. **Incremento, espaço horizontal e competição em povoamento natural de Araucaria angustifolia no Planalto Catarinense**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). 105f. Universidade do Estado de Santa Catarina. 2014.

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

SANQUETTA, C.R. CORTE, A.P.D. JACON, A.D. Crown area and trunk diameter relationship for tree species at a mixedaraucaria natural forest in the mid-southern Parana state, Brazil. **Floresta**. v. 41, n.1, p. 63-72. 2011.

SANQUETTA, C. R.; BEHLING, A.; CORTE, A. P. D.; FERNANDES, A. C.; BECKERT, S. M.; SIMON, A. A. Equações para estimativa do diâmetro de copa para acácia-negra. **Floresta e ambiente**. v.21, n.2, p.192-205. 2014.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; CÔRTE, A. P. D.; FERNANDES, L. A. V.; SIQUEIRA, J. D. P. **Inventários Florestais: Planejamento e Execução**. 2 ed. Curitiba: Mult-Graphic, 2009. 316p.

SANTA CATARINA (Estado) - Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral subchefia de Estatística, Geográfica e Informática (GAPLAN). **Atlas de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 1986, 176p.

SCHNEIDER, P. S.P; FLEIG, F.D.; SCHNEIDER, P. R., FINGER, C. A.G.; CHAVES, D.M.; MOREIRA, A. M. Diagrama de manejo da densidade para povoamento de *Pinus taeda* L. conduzido sem desbaste. **Ciência Florestal**, v. 19, n.4. p. 433-447. 2009.

ŠEBEŇ, V.; BOŠEL'A, M.; KONOPKA, B.; PAJTIK, J. Indices of tree competition in dense spruces stand originated from natural regeneration. **Lesnícky časopis - Forestry Journal** v.59, n.3, p.172-179. 2013.

SOUSA, K. M. M. **Modelos Lineares Generalizados e modelos de dispersão aplicados à modelagem de sinistros agrícolas**. Dissertação (Mestrado em Ciências). 66f. Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”. 2010.

SOUZA, G. da S. **Introdução aos modelos de regressão linear e não linear**. Brasília: EMBRAPA, 1998. 489p.

TONINI, H. ARCO VERDE, M.F. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia, Brasília. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 40, n.47, p. 633-638. 2005. 4

WEBER, V. P. **Relação Morfométrica e de Competição no Crescimento de *Ocotea porosa* (Nees et Martius ex Nees) Liberato Barroso na região central de Santa Catarina**. 2013. 101 f. Tese (Doutorado Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2013.

WONNACOTT, T. H.; WONNACOTT, R. J. **Introdução à estatística**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1980. 589p.

CAPÍTULO 4

DENDROGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE DE *Eucalyptus dunnii* Maiden EM RIO NEGRINHO / SC

RESUMO

Os dendrogramas de manejo da densidade (*DMD*) são modelos gráficos que descrevem a dinâmica de um povoamento, sendo extremamente úteis no processo de regulação da densidade. O objetivo do presente estudo foi desenvolver um dendrograma de manejo da densidade para povoados de *Eucalyptus dunnii* Maiden., no município de Rio Negrinho / SC para planejar intervenções silviculturais para estes povoados. Foram inventariadas parcelas de 400m² nas idades de 2, 3 e 4 anos. Determinaram-se para os povoados as variáveis: área basal por hectare, número de árvores por hectare e diâmetro da árvore de área basal média. O modelo de Reineke (1933) foi ajustado e teve recalculado o valor de intercepto para definir a linha de máxima densidade, alcançando um coeficiente de determinação de 0,5461. Com o *DMD* desenvolvido para a situação atual do povoamento pode-se simular um desbaste aos 5,8 anos para posterior corte raso aos 7 anos levando em consideração um incremento diamétrico de 2,41 cm. Além disso simulou-se outra situação com desbastes ocorrendo aos 4 e 6 anos e corte raso aos 7,5 anos. Além disso, com a execução desse trabalho o *DMD* demonstrou ser uma ferramenta eficiente para elaboração de planos de manejo.

Palavras-chave: Desbaste; Produção florestal; Manejo florestal.

CHAPTER 4**DENSITY MANAGEMENT DIAGRAM OF *Eucalyptus dunnii* Maiden IN RIO NEGRINHO / SC****ABSTRACT**

Density management dendograms (*DMD*) are graphic models that describe the dynamics of a stand, and are extremely useful in the process of density regulation. The objective of the present study was to develop a density management dendrogram for *Eucalyptus dunnii* Maiden. Stands, in the municipality of Rio Negrinho / SC, to plan silvicultural interventions for these stands. Plots of 400m² were inventoried at the ages of 2, 3 and 4 years. The following variables were determined for the stands: basal area per hectare, number of trees per hectare and diameter of the tree of mean basal area. The Reineke model (1933) was adjusted and recalculated the intercept value to define the maximum density line, reaching a determination coefficient of 0,5461. With the *DMD* densenvolved for the current situation of the stand, a thinning can be simulated at 5.8 years for a later cut at 7 years, taking into consideration a diametric increase of 2.41 cm. In addition, another situation was simulated with slabs occurring at 4 and 6 years and shallow at 7.5 years. In addition, with the execution of this work the *DMD* proved to be an efficient tool for the elaboration of management plans.

Keywords: Self-thinning; Forest production; Forest management.

4.1 INTRODUÇÃO

É reconhecida a importância dos recursos advindos de florestas para atender às necessidades humanas. A madeira é utilizada ao longo dos séculos para as mais diversas finalidades. Esse uso fez surgir os plantios florestais com espécies de rápido crescimento, como as do gênero *Eucalyptus*. A madeira de *Eucalyptus*, oriunda dos ciclos de produção em curto espaço de tempo é atualmente muito empregada. Sendo destaque no cenário econômico e na balança comercial, com geração de empregos, atuação em 17 estados e apresentando grandes investimentos nos últimos anos (MARANGON, 2015; RETSLAFF et al., 2016).

No entanto, inúmeros povoamentos florestais são conduzidos de maneira empírica no Brasil. O que resulta em madeira de má qualidade, perdas econômicas por mortalidade e ataque de pragas em povoamentos com alto grau de competição. Contudo, povoamentos com boas características dependem de práticas silviculturais e do manejo empregado. Para tanto, conhecimentos sobre a dinâmica de crescimento e a interação entre os indivíduos são indispensáveis (LIMA et al., 2013).

Dentre esses conhecimentos deve constar a detecção da competição, uma vez que, de acordo com Scheeren et al. (2004), com o desenvolvimento das árvores, suas copas e raízes precisam, gradativamente, de maiores espaços para continuarem a crescer. Quando esse espaço é restrito, ocorre a sucumbência dos indivíduos que estão nos estratos inferiores, o que enseja a necessidade de se intervir silviculturalmente no povoamento.

Segundo Thomas (2009) estimativas de densidade de povoamentos podem ser construídas para curtos períodos de tempo, servindo para determinar pesos de desbaste para realização de intervenções em um dado momento. E, também, para longos períodos, o que oferece suporte para a elaboração de plano de desbaste para toda a rotação. Evidencia-se assim, que a regulação da densidade é a chave para a contínua produção em volume da floresta.

O emprego de Dendrogramas de Manejo da Densidade (*DMD*) consiste em utilizar uma técnica prática, baseada na teoria do autodesbaste das árvores de um povoamento (SCHNEIDER et al., 2009). Assim, estudos relacionados à *DMD*, são tidos como ferramentas úteis para administradores florestais, substituindo os tradicionais experimentos para definição de espaçamentos ideais. No entanto, ainda são poucas as pesquisas sobre o assunto, principalmente em nosso país e, em menor número para espécies folhosas (SCHNEIDER, 2008).

Conforme Marangon (2015), o planejamento dos regimes de desbaste é uma das principais utilizações dos *DMD*, pois através destes determina-se o tempo e intensidade de desbastes para alcançar os objetivos delineados de acordo com a particularidade de cada situação, além de ser possível comparar e definir um conjunto de planos de corte. Ainda, os dendrogramas tornam-se instrumentos para compreender a dinâmica do povoamento e as implicações nas intervenções de densidade para alcançar a finalidade das ações de manejo.

Com o uso dos *DMD* pode-se também definir o grau de competição entre os indivíduos nas florestas, mediante uma série de linhas paralelas, determinadas a partir da linha de autodesbaste e com base nisso, definir as zonas de competição para o povoamento (REID, 2004). Permite-se ainda predizer alterações futuras do diâmetro médio, altura, densidade e volume dos povoamentos puros (LONG e SMITH, 1985).

Nesse contexto, objetivou-se com o presente trabalho desenvolver um dendrograma de manejo da densidade em função do número de árvores por hectare, do diâmetro da árvore de área basal média e área basal por hectare para povoamentos de *Eucalyptus dunnii* Maiden., no município de Rio Negrinho / SC, como forma de auxiliar no planejamento de intervenções silviculturais para estes povoamentos.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Caracterização da área de estudo

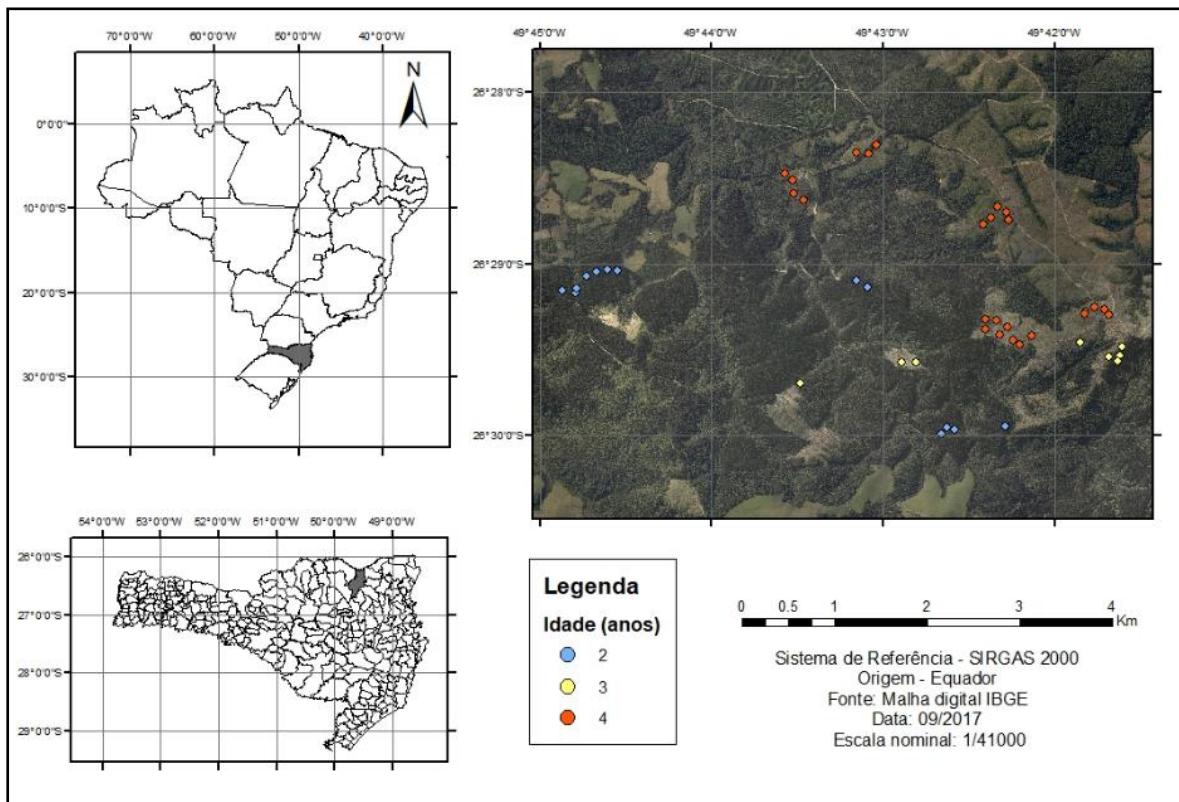
O presente trabalho foi realizado no município de Rio Negrinho (Latitude -26° 16" e Longitude - 49° 31' 06", com altitude variando entre 800m e 1.200m) localizado no Alto Vale do Rio Negro na microrregião do Planalto Norte catarinense (INPE, 2009) (Figura 1). Para tanto, foram utilizadas áreas experimentais com plantios de *E. dunnii* com idades entre 2 e 4 anos de uma empresa florestal, que utiliza os mesmos para finalidade energética.

De acordo com Bognola (2007) Rio Negrinho está inserido no extremo Norte do estado, tendo como fronteira o estado do Paraná, e situando-se entre a Serra do Mar e o Patamar de Mafra. O relevo da região é quase plano, constituído de maneira predominante por superfície colinosa. Kobiyama et al., (2007) relataram que a geologia é formada por rochas sedimentares paleozoicas.

Os solos da área são classificados como Cambissolos Húmicos Alumínicos típicos ou lépticos, com textura argilosa (BOGNOLA, 2008). Sendo esses caracterizados por

apresentarem as seguintes características: pH: 4,28, Índice SMP:4,20, Ca⁽²⁾ (cmolc.dm⁻³):0,88, Mg⁽²⁾ (cmolc.dm⁻³):0,76, Al⁽²⁾ (cmolc.dm⁻³): 4,64, P Mehlich⁽²⁾ (mg [.dm-3]): 0,72, K⁽²⁾ (cmolc dm⁻³): 73,80, MO (%):3,45, CTC (cmolc dm⁻³): 6,46, CTC pH 7,0 (cmolc.dm⁻³): 36,32, Saturação por bases (%): 5,00, Saturação por Al (%): 71,84 e Argila (g kg⁻¹): 18,50 (FRIGOTTO, 2016).

Figura 1: Parcelas em florestas plantadas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. Em Rio Negrinho, SC.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2017).

Os dados utilizados no presente estudo são provenientes de povoamentos florestais instalados em dezembro dos anos de 2011, 2012 e 2013, os quais foram mensurados início de 2016, possuindo na época de coleta de dados 2, 3 e 4 anos de idade. Os indivíduos eram provenientes de mudas clonais de *E. dunnii*, denominado clone 7003.

Na implantação desses povoamentos as áreas sofreram preparo de solo pelo método do cultivo mínimo, isto é, com subsolagem de até 0,4 m de profundidade, realizada no espaçamento de 3,0m, sendo que, o plantio possuía espaçamento padrão de 3 x 2m (1.667 mudas por hectare). Juntamente com a subsolagem foi realizada a fosfatagem.

A adubação fosfatada foi realizada com Fosfato Natural Reativo de Arad ou Gafsa, com 28% de fósforo total, no valor de 0,4t/ha. A adubação foi distribuída no sulco principal do plantio a uma profundidade de 0,30 à 0,40 cm, na profundidade da subsolagem. A calagem foi realizada com 4 t/ha.

O uso de NPK ocorreu da seguinte maneira:

- Plantio (6 - 30 - 6): Utilizaram-se 10 sacas de 50 kg/ha e ocorreu em duas fases, para que não fossem causados danos as mudas. A primeira aplicação foi de 05 a 10 dias após o plantio, com incorporação em dois pontos distintos a mais ou menos 10 cm da muda, 50g por ponto, ou seja, 100g na primeira aplicação.
- Segunda aplicação (6 - 30 - 6): Utilizaram-se 200g/planta, 90 dias após o plantio, ou quando a planta atingiu de 1,0 a 1,50m de altura em três pontos distintos ao redor da muda a distância de 0,50cm, também de forma incorporada.
- Terceira aplicação (20 - 0 - 20): Utilizaram-se 10 sacas/ha desta formulação para suprir o restante de nitrogênio e potássio. Esta formulação foi aplicada a lanço, a uma distância de 1,0m da planta. A mesma ocorreu no final do segundo ano após o plantio. Juntamente com o restante do calcário.

O plantio foi realizado manualmente sobre as linhas subsoladas, tendo sido realizados os tratos culturais comumente utilizados, como: roçada mecanizada ao final do primeiro ano após plantio e combate a formiga.

O clima da região é classificado como Cfb, ou seja, Temperado Úmido Mesotérmico, sem estação seca definida, com temperaturas médias anuais de 17°C, chegando no mês mais frio a -3°C e no mês mais quente não ultrapassando 22°C (ALVARES, 2014).

A flora da região pertence ao Bioma Mata Atlântica, inserindo-se entre as unidades Fitogeográficas de Floresta Ombrófila Mista e Floresta Ombrófila Densa. Sendo assim, a formação florestal possui exemplares das duas unidades, podendo-se citar a presença de: *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. kuntze, *Ocotea porosa* Nees et Martius Ex Nees, *Nectandra lanceolata* Ness. Et Mart. Ex Nees, *Ilex paraguariensis* St. Hil, *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer, *Aspidosperma olivaceum* Müll.Arg, *Alchornea triplinervea* (Spreng.) Müll. Arg., *Virola bicuhyba* (Schott Ex Spreng.) Warb, entre outras (KLEIN, 1979; SANTA CATARINA, 1986; IBGE, 1992).

No entanto, com o passar do tempo, a região passou por diversas ações antrópicas fazendo com que a formação florestal ficasse restrita a remanescentes (GONÇALVES, 2011). Além disso, a região encontra-se intensamente cultivada com plantios florestais homogêneos, principalmente dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, que são explorados para finalidades energética e moveleira.

4.2.2 Instalação de Unidades Amostrais

Para a obtenção dos dados, realizou-se a amostragem aleatória simples, através da instalação de unidades amostrais temporárias, com a instalação de parcelas quadrangulares de 400m². Para tanto, em cada idade dependendo da área total de plantio, foi determinado o número de unidades amostrais avaliando-se a suficiência amostral necessária para abranger a variabilidade dos talhões, conforme equação 1 (SANQUETTA et al., 2009):

$$n = \frac{t^2 S_x^2}{E^2} \quad (1)$$

Onde: n = número de unidades amostrais a ser medido; t^2 = valor de t de student tabelado; S_x^2 = variância; $E = (LE * \bar{x})$; LE = limite do erro de amostragem admitido (10%), \bar{x} = média aritmética dos valores observados.

Dessa maneira foram instaladas 47 parcelas, distribuídas conforme estrutura apresentada pela Tabela 1:

Tabela 1 - Número de unidades amostrais coletadas em cada idade, e total de unidades. Rio Negrinho, 2017.

Idade – anos	Área (ha)	Número de unidades amostrais
2	64,8	13
3	44,6	9
4	123,3	25
Total	232,7	47

Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

Para cada parcela determinou-se:

- Número real de árvores por hectare (Nr): determinado pelo produto resultante do número de árvores de 20% da parcela e área de um hectare, e a razão disso pela área ocupada por 20% dessas árvores, conforme equação 2.

$$Nr = n20\% * 10.000 / A20\% \quad (2)$$

Onde: Nr : número real de árvores por hectare (n/ha); $n20\%$: número de árvores de 20% da parcela; $A20\%$: área ocupada por 20% dessas árvores.

- Diâmetro da árvore de área basal média (dg) (equação 3):

$$dg = \sqrt{\frac{4g}{\pi}} \quad (3)$$

Onde: dg : diâmetro de área basal (cm) ; g : área transversal média (cm^2).

- Área basal média por hectare (G) (equação 4) :

$$G = Nr \frac{\pi * dg^2}{40000} \quad (4)$$

Onde: G : área basal média por hectare (m^2/ha); Nr : número real de árvores/ha; dg : diâmetro da árvore de área basal média.

4.2.3 Construção do dendrograma de manejo da densidade

A relação entre o número de árvores por hectare (Nr/ha) e o correspondente diâmetro da árvore de área basal média (dg) foi determinada através do modelo de Reineke (1933) na forma linear, conforme a equação 5:

$$\ln(N/\text{ha}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(dg) + \varepsilon \quad (5)$$

Onde: N/ha = número de árvores por hectare; dg = diâmetro da árvore de área basal média, em cm; β_0 e β_1 = coeficientes de regressão estimados; ε = erro residual.

Segundo Thomas (2009) o modelo de regressão de Reineke, estima a máxima densidade populacional, no entanto, o resultado desse modelo de regressão é a média estimada dos valores observados. Sendo assim, esse valor não expressa a densidade máxima,

uma vez que existem valores acima e abaixo de uma média, de modo que os valores acima é que representam a densidade máxima.

Em função disso, para construção da linha A, que descreve a máxima densidade de ocupação, foi definido após o ajuste da equação (5) um novo valor de intercepto, elevando o mesmo até que o modelo cobrisse os dados observados. Ou seja, para a definição da linha máxima alterou-se o nível da equação através de tentativas, o que torna o processo mais biológico possível. De acordo com Selle et al. (2010) a linha máxima indica o limite superior da capacidade que o local suporta. Correspondendo, portanto, à relação teórica que descreve a trajetória do número de árvores que se encontram em plena densidade de ocupação.

A linha A foi construída a partir de povoamentos em estoque máximo, que apresentavam mortalidade natural em baixa quantidade. Para definição da mesma foram inclusas desde as florestas mais jovens, com 2 anos até os povoamentos mais adultos, com 4 anos. Vale ressaltar que os povoamentos não seguiam o espaçamento padrão de 3x2m, sendo em alguns lugares maiores e em outros menores. Dessa maneira em alguns casos a densidade esperada de 1.667 árvores/ha foi ultrapassada. Entretanto, esse fato acabou tornando-se um aspecto positivo para o presente estudo, pois através do mesmo foi possível abranger diferentes simulações para a densidade.

A faixa de manejo compreendida entre as linhas B e C, que correspondem as fases de início mortalidade e máxima produtividade respectivamente, foi fixada em relação à linha A, considerando valores de 55% para a linha B e 50% para linha C. Assim, a faixa de manejo ficou estipulada em uma amplitude de 15%. A linha D que descreve a ocupação das copas ficou definida em 45%. Esses valores foram determinados com base no trabalho de Marangon et al. (2017) que construiu dendrogramas de manejo da densidade para *Eucalyptus grandis*. De acordo com Costa et al. (2016), estas amplitudes das linhas podem sofrer alterações conforme os objetivos estabelecidos no manejo da floresta.

Além disso, a faixa de manejo ficou localizada entre esses pesos, pois para a produção desejada, que é energética, não é necessário manejear florestas com a capacidade de produção muito alta, uma vez que o diâmetro máximo para o uso da tora nas caldeiras corresponde a 18cm. Então, de acordo com Thomas (2009) é possível aumentar a produção adensando a área até um limite ótimo. Entretanto, também não é de interesse a densidade máxima, pois não é desejável a alta concorrência e a presença de indivíduos suprimidos.

4.2.4 Análise de dados

As análises estatísticas foram processadas no pacote estatístico *Statistical Analysis System* (SAS 9.3) e o coeficiente de determinação (R^2), erro padrão da estimativa em porcentagem ($Syx\%$) e a análise gráfica dos resíduos em função dos valores estimados, foram usados para verificar a performance das equações. O procedimento PROC REG foi usado para a estimativa dos coeficientes de regressão com o Método dos Mínimos Quadrados Ordinários.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Características das árvores amostradas

Os povoamentos analisados encontram-se caracterizados na Tabela 2. Através da mesma, percebe-se que a G/ha média foi de $19 \text{ m}^2/\text{ha}$ com máximo atingindo $40 \text{ m}^2/\text{ha}$, mostrando um povoamento superestocado. O maior valor de dg foi 20 cm e valor mínimo de 8 cm. Trabalhando com *E. grandis* Marangon et al., (2017) encontraram um dg médio de 14 cm, valor semelhante ao do presente trabalho. Percebe-se que a variação de Nr/ha foi grande, evidenciando mais uma vez as problemáticas com o espaçamento citadas anteriormente.

Tabela 2 - Resumo estatístico das características das árvores amostradas de *E. dunnii* em Rio Negrinho, SC.

Variável	Média	Mínimo	Máximo
dg (cm)	13	8	20
G/ha (m^2/ha)	19	8	40
Nr/ha	1519	975	2000

Onde: dg = diâmetro de área basal média, em cm; G/ha = área basal por hectare; Nr/ha = número de árvores por hectare.

Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

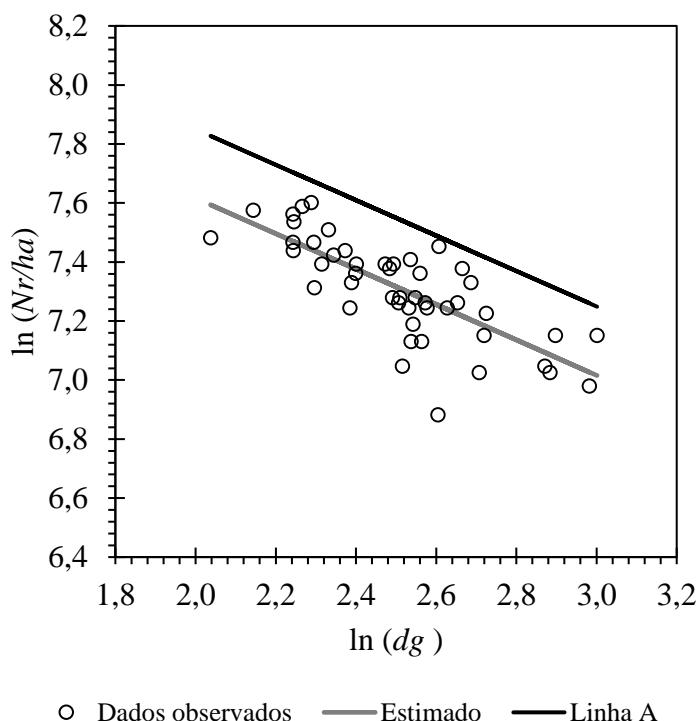
4.3.2 Determinação da linha A

Ao ajustar o modelo de Reineke (1933) encontrou-se uma regressão significante com valor de F sendo 56,5, valor do coeficiente de determinação de 0,5461 com valor do

coeficiente angular (β_1) de -0,60023 e $p<0,0001$. Ao construir *DMD* para *Pinus taeda* no Paraná, Restelaff (2016) também encontrou bom ajuste dos dados com o modelo de Reineke, assim como Thomas (2009).

Ao observar a Figura 2, percebe-se que os valores estimados conseguiram descrever bem os dados observados, garantindo dessa maneira que a Linha A fosse construída da forma mais adequada possível readequando o valor do intercepto de 8,81664 para 9,05000.

Figura 2 - Ajuste do modelo de Reineke (1933) para descrever o $\ln(Nr/ha)$ em função do $\ln(dg)$ para *E. dunnii* em Rio Negrinho, SC.



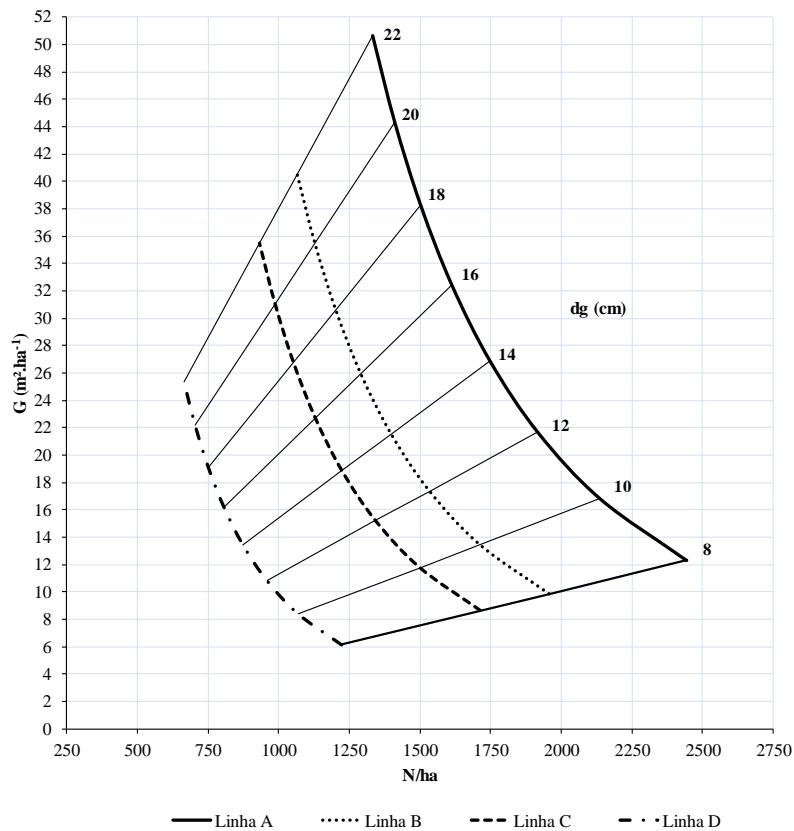
Onde: Estimado = $\ln(Nr/ha)=8,81664 - 0,60023 \ln(dg) + \varepsilon$; Linha A= $\ln(Nr/ha)= 9,050000 - 0,60023 \ln(dg) + \varepsilon$.
Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

4.3.3 Dendrograma de Manejo de Densidade

O dendrograma de manejo desenvolvido para a área basal por hectare, a partir de interação das variáveis Nr/ha e dg , pode ser observado na Figura 3. Com a faixa de manejo proposta entre os valores de 55% e 50% em relação a linha A, visou-se que as intervenções de desbaste mantivessem a área basal e o número de árvores por hectare adequados, fazendo assim com que o espaço passe a ser ocupado de maneira eficiente.

Cárcamo et al. (2011) ao usar *DMD* como ferramenta de manejo para florestas de *Drimys winteri* J.R.Forst no Chile relataram que entre os índices de densidades 40-55% obtém-se a maximização da produção de biomassa para uso energético, e povoamentos que estão localizados nesta área têm um menor risco de cair pela ação do vento.

Figura 3 - Dendrograma de manejo de densidade da área basal (G/ha) relacionado com o número de árvores (Nr/ha) por hectare e diâmetro da árvore de área basal média (dg) para um povoamento de *E. dunnii* em Rio Negrinho – SC.



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

No dendrograma apresentado, a amplitude de abrangência de dg é desde 8 até 22 cm em classes de 2 cm. O início é em 8 cm pois, esse foi o valor mínimo encontrado para o povoamento em questão. Vale ressaltar ainda que o *DMD* apresentado facilita o entendimento do povoamento, sendo útil para orientações de intervenções de desbaste.

4.3.4 Simulações de desbastes com o Diagrama de Manejo da Densidade

A simulação de desbaste para o povoamento (Tabela 3) foi construída de acordo com os dados obtidos das árvores amostradas do trabalho em questão. Para tanto, buscou-se regular a produção da floresta de maneira a aproveitar as condições proporcionadas pelos sítios, promovendo a maximização do rendimento por meio das atividades sugeridas.

Determinou-se uma G/ha de 21 m^2/ha , Nr/ha de 1550 e dg de 13 cm, que é similar a situação atual que o povoamento se encontra. Com base nesses valores, foi definido um desbaste moderado, através de uma regulação de 8,8% de G/ha e 19,2% do Nr/ha , atualmente, encontrado, equivalente à redução de 298 Nr/ha .

Determinou-se para o corte raso o valor de dg de 17 cm, podendo esse chegar a 18 cm, uma vez que o diâmetro máximo aceito para a finalidade do presente estudo é de 18cm. Em função do cenário atual descrito e com uma média de incremento de dg de 2,41cm/ano, indicou-se a realização de um desbaste aos 5,8 anos e o corte raso aos 7 anos. Vale ressaltar que o incremento médio anual em diâmetro usado para os cálculos de estimativa da idade foi determinado com base na média dos incrementos das árvores estudadas.

Tabela 3 - Simulação 1 para execução de desbastes de *E. dunnii*, em Rio Negrinho, SC.

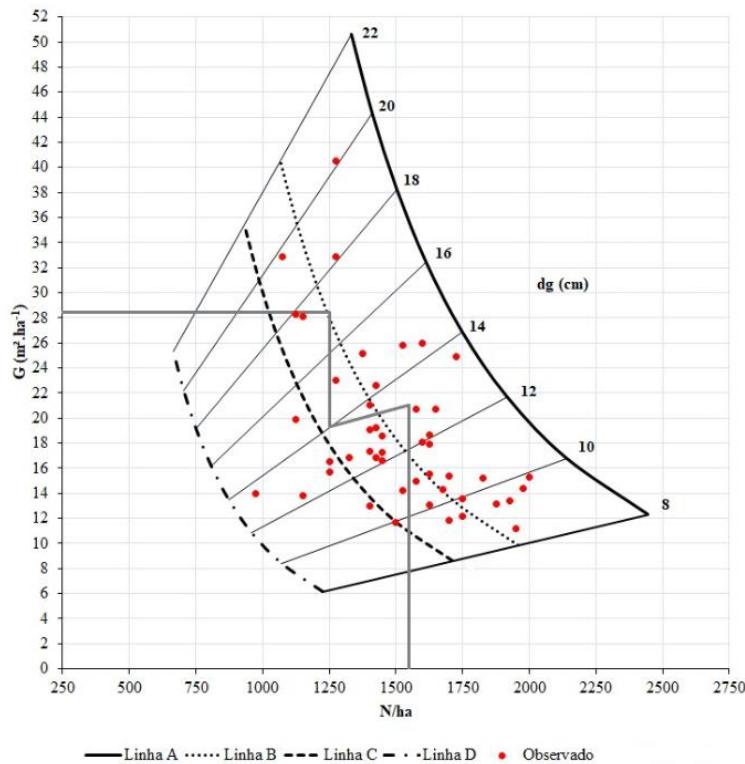
dg (cm)	Anos	Remanescente		Desbaste		
		Nr/ha	G (m^2/ha)	Nr/ha	G (m^2/ha)	% Nr/ha
13	-	1550	21	-	-	-
14	5,8	1252	19,3	298	1,7	19,20
17	7	1252	28,4	-	-	-

dg = diâmetro de área basal média, em cm; Nr/ha = número de árvores por hectare; G/ha = área basal por hectare.

Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

Com a inclusão dos dados observados em campo no *DMD* percebe-se que os mesmos foram contemplados pela amplitude do *DMD* construído. Nota-se que a simulação representada na Figura 4 inicia da condição atual do povoamento, partindo para o ponto de desbaste, próximo a linha C. A partir deste ponto as árvores encontrarão condições adequadas para seu desenvolvimento até atingirem dg de 17 cm e G/ha de 28,4, próximo a linha B, momento que será realizada a colheita.

Figura 4 - Simulação 1 de desbaste no dendrograma de manejo da densidade da área basal (G/ha) relacionado com o número de árvores por hectare (Nr/ha) e diâmetro da árvore de área basal média (dg), para um povoamento de *E. dunnii* em Rio Negrinho – SC.



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

Evidencia-se que a prática de desbaste foi sugerida em função dos resultados apresentados nos capítulos 2 e 3. Resultados anteriores demonstram que a concorrência que as árvores vêm sofrendo, tornou-se um ponto negativo para o desenvolvimento do povoamento. De acordo com Cubas et al. (2016) a concorrência excessiva retarda o desenvolvimento das árvores, que ficam aguardando, a maior disponibilidade de luz causada pela abertura do dossel e também de nutrientes.

A intervenção através do desbaste sugerido, será extremamente válida para regulação da floresta, pois com a execução do desbaste o povoamento será nivelado, e as árvores remanescentes aumentarão suas dimensões de maneira mais rápida. A não realização dessa intervenção silvicultural, reduzirá a velocidade de desenvolvimento do povoamento, causando uma certa estagnação do mesmo (BARBOSA et al., 2015).

Ao simular outro cenário, não partindo da situação atual do povoamento, mas sim do momento em que deveriam ter sido realizadas intervenções silviculturais para que a concorrência não chegasse ao ponto que chegou atualmente, percebe-se que a execução de

dois desbastes seria necessária, como pode ser observado na Tabela 4 e Figura 5. Sendo um desbaste realizado aos 4 anos, outro aos 6 anos e a colheita aos 7,5 anos de idade.

Tabela 4 - Simulação 2 para execução de desbastes de *E. dunnii*, em Rio Negrinho, SC.

<i>dg</i> (cm)	Anos	Remanescente		Desbaste		
		<i>Nr/ha</i>	<i>G</i> (m ² /ha)	<i>Nr/ha</i>	<i>G</i> (m ² /ha)	% <i>Nr/ha</i>
9	-	1850	12	-	-	-
10	4	1500	12	350	-	18,91
13	-	1500	20	-	-	-
14,5	6	1200	20	300	-	20,00
18	7,5	1200	30,5	-	-	-

dg = diâmetro de área basal média, em cm; *Nr/ha* = número de árvores por hectare; *G/ha* = área basal por hectare.

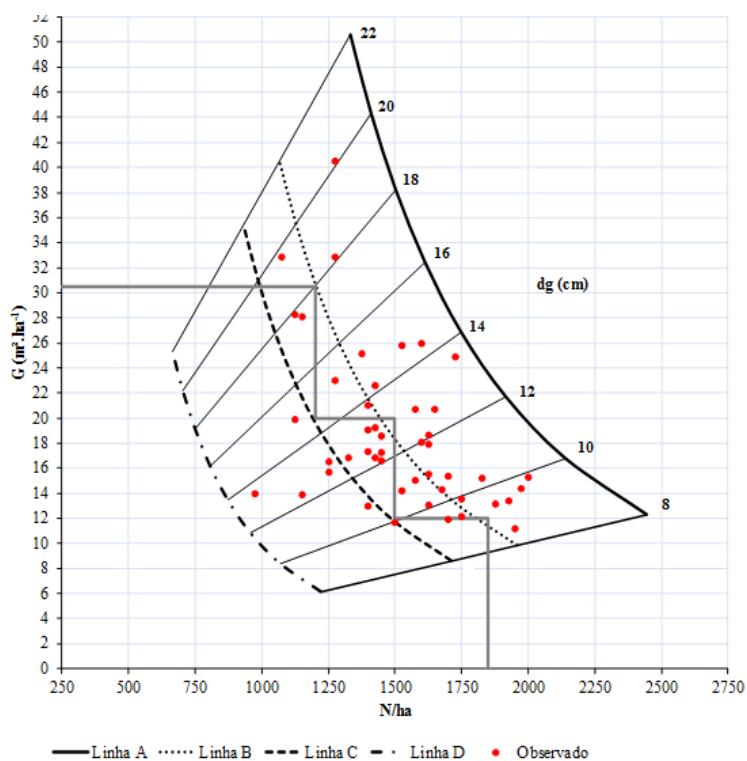
Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

Ao comparar a simulação 2, com o cenário anterior, é possível ser obtido um valor final maior de *G/ha* na colheita, assim como maior *dg*. Nota-se através da Figura 5, que para a simulação 2 foi sugerida a prática de desbaste por baixo, ou seja, recomendada a supressão das árvores com menor diâmetro, que normalmente são as domindas. Isso fica evidente ao observar que o valor de *G/ha* no momento do desbaste não diminui, mantendo-se constante.

Vale ressaltar ainda a importância da realização de intervenções logo que o povoamento começa a entrar em competição. Isso pode ser percebido com o auxílio de um *DMD* que descreve quando o desenvolvimento do povoamento sai do espaço compreendido na faixa de manejo e começa a ter seu crescimento comprometido pela competição entre plantas. Sendo assim, nesse momento devem ser tomadas providências para que não ocorram perdas em incremento e consequentemente econômicas, o que foi sugerido na simulação 2.

Recomenda-se que outros trabalhos com diferentes espaçamentos sejam realizados para que a construção do *DMD* tenha melhores resultados. De maneira a auxiliar ainda mais no estabelecimento de estratégias de manejo e planejamento florestal, para prognose da produção em área basal, diâmetro médio e número de árvores. Além disso, pesquisas com outros espaçamentos poderão auxiliar na decisão referente à adoção de espaçamentos maiores no plantio, ou à realização do desbaste, para tanto análises econômicas da realização da prática de desbaste também devem ser efetuadas.

Figura 5 - Simulação 2 da atividade de desbaste no dendrograma de manejo da densidade da área basal (G/ha) relacionado com o número de árvores por hectare (Nr/ha) e diâmetro da árvore de área basal média (dg), para um povoamento de *E. dunnii* em Rio Negrinho – SC.



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

4.4 CONCLUSÕES

O dendrograma de manejo da densidade construído com as variáveis diâmetro da área basal média, área basal e número de árvores por hectare do povoamento, demonstrou-se eficiente nas estimativas destes valores. Além disso, com o dendrograma foi possível estabelecer estratégias de manejo da floresta através de duas simulações, uma partindo do momento em que interferências deveriam ter sido tomadas no povoamento e não foram e a outra descrevendo a situação atual e propondo práticas a partir disso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v.22, n. 6, 2014, p.711–728.

BARBOSA, R.H.S.; FIEDLER, N.C.; ALVES, E.G.; MENDONÇA, A.R.; CHICHORRO, J.F.; GONÇALVES, S.B.; KUBOYAMA, F.A.Q. Análise técnica e econômica do desbaste em um povoamento de eucalipto na região sul do Espírito Santo. **Nativa**, v.3, n.2, p.125-130, 2015.

BOGNOLA, I.A.; RIBEIRO JUNIOR, P. J.; SILVA, E. A. A.; LINGNAU, C.; HIGA, A. R. Modelagem uni e bivariada da variabilidade espacial de rendimento de *Pinus taeda* L. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, 2008.

BOGNOLA, I. A. **Unidades de manejo para *Pinus taeda* L. no planalto norte catarinense, com base em características do meio físico.** 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2007.

CÁRCAMO, C. N.; HERRERA, M. A.; ARANDA, F. D.; DONOSCO, P. J. Diagrama de manejo de densidad y su aplicación a raleo en bosques de segundo crecimiento de *Drimys winteri* en el sur de Chile. **Revista Bosque**, v.32, n.2, p.175-186, 2011.

COSTA, E.A.; FINGER, C.A.G.; FLEIG, F.D.; HESS, A.F.; MARANGON, G.P., Dendrograma de manejo da densidade para uma floresta inequívoca de araucária. **Floresta**, v.46, n.2, p.173-184. 2016.

CUBAS, R.; FARINHA, L. W.; FIGUEIREDO FILHO, A. Incremento, ingresso, mortalidade em um remanescente de Floresta Ombrófila Mista em Três Barras-SC. **Ciência Florestal**, v. 26, n.3, p. 889-900. 2015

FRIGOTTO, T. **Seleção de espécies/procedências e propagação vegetativa de *Eucalyptus spp.* na região Norte de Santa Catarina.** Dissertação (Mestre em Engenharia Florestal). 94f. Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2016.

GONÇALVES, M. D. P. M. **Avaliação socioeconômica e ambiental de sistemas de produção de *Mimosa scabrella* Benth e de *Pinus taeda* (L.).** Dissertação (Mestre em Ciências Florestais). 153f. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2011.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira.** Rio de Janeiro: Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 92p. (Manuais Técnicos em Geociências, n.1). 1992.

INPE - **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.** 2009. Disponível em: <http://bancodedados.cptec.inpe.br/climatologia/Controller>. Acesso em: 14/12/2016.

KLEIN, R.M. Ecologia da flora e vegetação do Vale do Itajaí. **Sellowia**, Itajaí, v.31, 164p. 1979.

KOBIYAMA, M., CHECCHIA, T., CORSEUIL, C. W., LINO, J. F. L., LOPES, N. H. Y., GRISON, F., CHAFFE, P. L.B., MALUTTA, S., RIBAS JUNIOR, U., LANGA, R., BASSO, S. **Forest hydrology project (UFSC MOBASA) for water resources managemente in Rio Negrinho City, Santa Catarina, Brazil.** IAHS-AISH Publication, v. 315, p. 250-257. 2007.

LIMA, R.; INOUE, M. T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARAUJO, A. J.; MACHADO, A. S. Efeito do espaçamento no desenvolvimento volumétrico de *Pinus taeda* L. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n.2, p. 223 - 230. 2013.

LONG, J.N.; SMITH, F.W. Relation between size and density in developing stands: a description and possible mechanisms. **Forest Ecology and Management**, v.7, n.2, p.191-206, 1985.

MARANGON, G. P. **Otimização bioeconômica do regime de manejo para *Eucalyptus grandis* W. Hill no estado do Rio Grande do Sul.** 2015. 196 f. (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

MARANGON, G.P.; SCHNEIDER, P.R.; ZIMMERMANN, A.P.L.; LONGHI, R.V.; CAVALLI, J.P. Density management diagrams for stands of *Eucalyptus grandis* W. Hill RS, Brazil. **Revista Árvore**, v. 41, n.1. 2017.

REID, R. Silvicultural management of Australian blackwood (*Acacia melanoxylon*) in plantations and multi-purpose forests. In: GOVE, J. H. **Structural stocking guides: a new look at an old friend.** National Research Council Canada, 2004. v.34. n.5.

REINEKE, L. H. Perfecting a stand-density index for even-aged forests. **Journal of Agricultural Research, Lahore**, v. 46, p. 627 - 638, 1933.

RETSLAFF, F.A.S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S. A.; ARCE, J.E.; JASKIU E. Diagrama de manejo da densidade para *Pinus taeda* no estado do Paraná. **Revista Floresta.** v. 46, n.2, p. 185-95, 2016.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; CÔRTE, A. P. D.; FERNANDES, L. A. V.; SIQUEIRA, J. D. P. **Inventários Florestais: Planejamento e Execução.** 2 ed. Curitiba: Mult-Graphic, 2009. 316p.

SANTA CATARINA (Estado) - Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral subchefia de Estatística, Geográfica e Informática (GAPLAN). **Atlas de Santa Catarina.** Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 1986, 176p.

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. 111-122, 2004.

SCHNEIDER, P. S. P. **Autodesbaste e diagrama de manejo da densidade em povoamentos de *Pinus taeda* L.** 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

SCHNEIDER, P. S.P; FLEIG, F.D.; SCHNEIDER, P. R., FINGER, C. A.G.; CHAVES, D.M.; MOREIRA, A. M. Diagrama de manejo da densidade para povoamento de *Pinus taeda* L. conduzido sem desbaste. **Ciência Florestal**, v. 19, n.4. p. 433-447. 2009.

SELLE, G. L., VUADEN, E., BRAZ, E. M., CUNHA, T. A. D. Uso do dendrograma de manejo de densidade: uma aplicação prática com *Hovenia dulcis* Thunberg. **Scientia Forestalis.**, v. 38, n. 86, p. 247-254, 2010.

THOMAS, C. **Dendrograma de manejo da densidade para povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm na Região Central do Rio Grande do Sul.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). 62 f. Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

CAPÍTULO 5

COMPARAÇÃO ENTRE DADOS OBTIDOS COM INVENTÁRIO CONVENCIONAL E COM LASER SCANNER TERRESTRE PARA *Eucalyptus* *dunnii* Maiden EM RIO NEGRINHO / SC

RESUMO

O emprego de geotecnologias na área florestal é essencial para facilitar a obtenção de medidas dendrométricas e morfométricas, reduzindo custo e tempo com atividades de inventário. Assim, o objetivo do estudo foi comparar medidas dendrométricas obtidas com o processamento dos dados de *laser scanner* terrestre (*TLS*) com as informações provenientes do inventário convencional de povoamentos de *Eucalyptus dunnii* Maiden em Rio Negrinho/SC. Para tanto, foi realizada a varredura múltipla com *laser* e a mensuração convencional de árvores de *E. dunnii* para as idades de 2, 3,4 e 5 anos, em 4 parcelas de 400m². De cada árvore da parcela foram obtidas as variáveis diâmetro a altura do peito (*DAP*), altura total (*h*), 4 raios de copa e diâmetro de copa (*dc*) pelo método tradicional. Em campo também foram obtidas as nuvens de pontos correspondentes as árvores pelo equipamento *TLS*. O registro e processamento dessas informações foram realizadas com auxílio do programa *Faro Scene* e *CloudCompare*. Foram ajustadas equações hipsométricas e modelos de *dc* em função do *DAP* para o conjunto de dados, com o uso dos Modelos Lineares Generalizados (*MLG*). As médias das variáveis foram submetidas ao teste t ao nível 5% de probabilidade de erro no software *Assistat 7.7*. A comparação entre as médias das variáveis dendrométricas e morfométricas, pelos métodos de mensuração apresentaram diferenças significativas. Evidencia-se que os resultados da tecnologia *TLS*, demonstraram uma superestimativa das variáveis dendrométricas e morfométricas com relação aos dados de campo. Os erros podem estar relacionados a falhas na metodologia do emprego dessa tecnologia, principalmente, pela influência de pontos que não correspondem à superfície das árvores. Outros estudos devem ser realizados visando o aperfeiçoamento do emprego do *TLS*.

Palavras-chave: Morfometria; Manejo florestal; Processamento de nuvens de ponto.

CHAPTER 5

COMPARISON BETWEEN DATA OBTAINED WITH CONVENTIONAL INVENTORY AND LASER SCANNER FOR *Eucalyptus dunnii* Maiden IN RIO NEGRINHO / SC

ABSTRACT

The use of geotechnologies in the forest area is essential to facilitate the obtaining of dendrometric and morphometric measures, reducing cost and time with inventory activities. Thus, the objective of the study was to compare dendrometric measurements obtained with the processing of terrestrial laser scanner (*TLS*) data with the information from the conventional inventory of *Eucalyptus dunnii* Maiden stands in Rio Negrinho / SC. For this, multiple laser scanning and the conventional measurement of *E. dunnii* trees for the ages of 2, 3, 4 and 5 years were performed in 4 plots of 400 m². From each tree of the plot were obtained the variables diameter at breast height (*DAP*), total height (*h*), 4 crown rays and crown diameter (*dc*) by the traditional method. In the field were also obtained the clouds of points corresponding to the trees by the *TLS* equipment. The recording and processing of this information was done with the help of the Faro Scene program and *CloudCompare*. Hypsometric equations and dc models were adjusted as a function of *DAP* for the data set, using Generalized Linear Models (*MLG*). The means of the variables were submitted to the test t at the level 5% probability of error in the software Assistat 7.7. The comparison between the means of the dendrometric and morphometric variables, by the measurement methods presented significant differences. It is evidenced that the results of the *TLS* technology, demonstrated an overestimation of the dendrometric and morphometric variables in relation to the field data. The errors can be related to failures in the methodology of the use of this technology, mainly, by the influence of points that do not correspond to the surface of the trees. Other studies should be carried out aiming at improving the use of *TLS*

Keywords: Morphometry; Forest management; Point cloud processing.

5.1 INTRODUÇÃO

O levantamento de dados dendrométricos e morfométricos em plantios de *Eucalyptus* spp. é realizado periodicamente pelas empresas do setor florestal, com intuito de verificar o desenvolvimento do povoamento. No entanto, essas medições a campo são realizadas com instrumentos que inúmeras vezes geram dúvidas quanto à precisão das medidas. Essas incertezas, são decorrentes de erros cometidos pelo operador e pelas características intrínsecas a cada um dos equipamentos (BUCK, 2016).

Segundo Martins Neto et al. (2013), atividades importantes realizadas no manejo florestal utilizam dados levantados em inventários como subsídio à tomada de decisão. Sendo assim, de acordo com Buck et al. (2017) a obtenção de medidas acuradas e estimativas precisas, tem sido o grande desafio imposto ao planejamento das empresas florestais.

Para tanto, metodologias têm sido desenvolvidas a fim de aprimorar a quantificação de variáveis florestais e o sensoriamento remoto tem-se mostrado uma ferramenta muito útil, para subsidiar as tarefas de inventário (PEINHOPF, 2012). Avanços tecnológicos têm proporcionado a introdução de diferentes equipamentos para se obter diâmetros, alturas e até mesmo volume de árvores em pé. Dentre estes, ganha destaque o *laser scanner* terrestre (*TLS*), o qual tem apresentado resultados promissores à mensuração de árvores (LICHTI et al., 2002).

O *laser scanner* terrestre é caracterizado como uma ferramenta capaz de reconstituir objetos de forma orgânica, com alta precisão e rapidez, por meio do processamento da nuvem de pontos tridimensional (MAAS et al., 2008). Essa reconstituição torna-se possível, pois após a coleta de dados com o *laser* têm-se as referências espaciais de cada ponto (coordenadas X, Y, Z), a intensidade do sinal e um valor de cor (RGB). A partir disso, faz-se a extração de informações necessárias para que determinado objetivo seja alcançado (SILVA et al., 2013).

Sendo assim, o uso de varredura *TLS* torna-se uma alternativa para obtenção de dados de maneira rápida e precisa, apresentando grande potencial de aplicação no setor de mensuração. Com o emprego do *TLS* tem-se o controle da precisão no levantamento de informações de maneira automatizada (LINGNAU et al. 2007; ZASADA et al., 2013). Evidencia-se ainda que o uso de *TLS* permite a modelagem e determinação de variáveis dendrométricas, como diâmetros em alturas parciais, altura total e volume. Não obstante, a nuvem de pontos, também pode ser trabalhada para o acompanhamento de tratos

silviculturais como, por exemplo, em simulações de podas e desbastes (BEINERT et al., 2006; LINGNAU, et al., 2009).

Em âmbito nacional ainda são escassas as pesquisas existentes quanto ao uso de *TLS* no setor florestal. Para tanto, metodologias de coleta e processamento de dados já desenvolvidas internacionalmente necessitam ser adaptadas às diferentes características de florestas plantadas. Além disso, são necessárias mais pesquisas para comprovar a correlação entre os valores medidos em campo e estimados por *TLS*, para que a técnica seja ainda mais embasada e por consequência estabelecida como alternativa para inventariar florestas (SILVA et al., 2013).

Com base nesses pressupostos, o presente trabalho teve como objetivo testar a compatibilidade dos dados obtidos com o processamento dos dados *TLS* e com as informações provenientes do inventário convencional de povoamentos de *Eucalyptus dunnii* Maiden., no município de Rio Negrinho / SC. Visando operacionalizar a tomada de informações dendrométricas e morfométricas reduzindo o esforço de campo para a coleta de dados, assim como erros de mensuração.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Caracterização da área de estudo

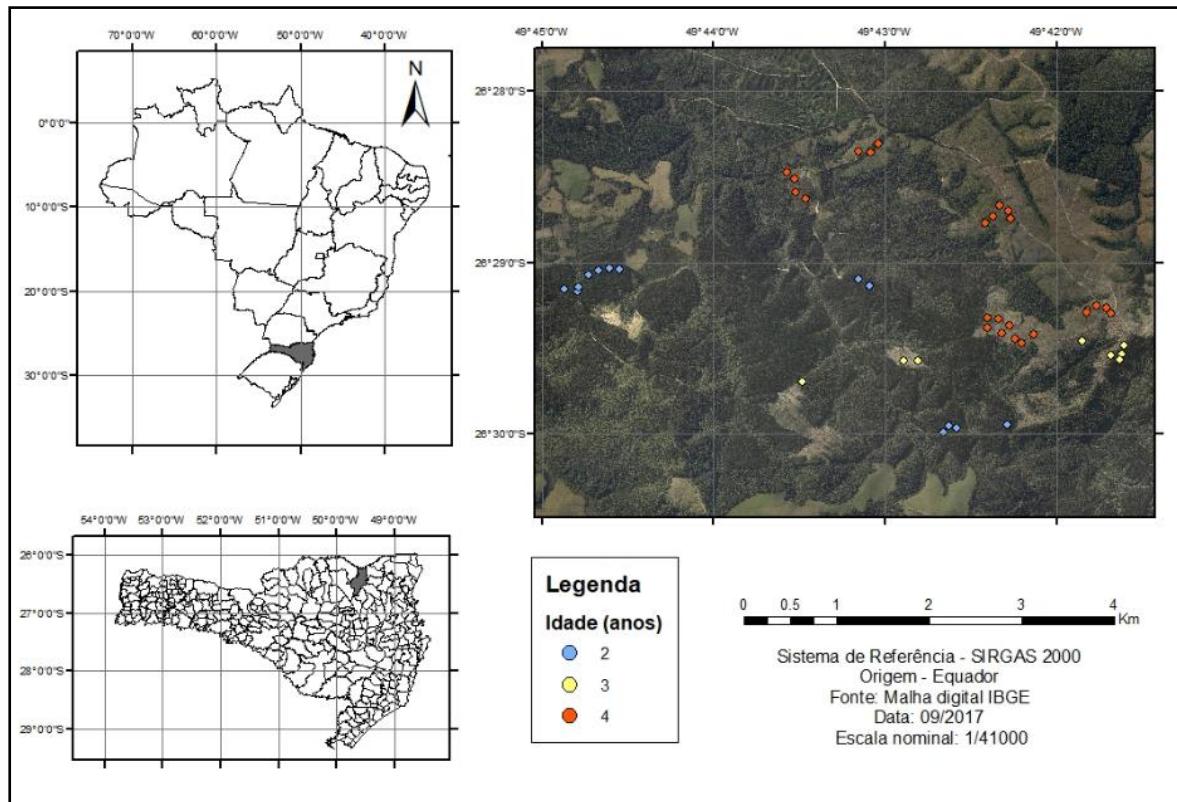
O presente trabalho foi realizado no município de Rio Negrinho (Latitude -26° 15' 16" e Longitude - 49° 31' 06", com altitude variando entre 800m e 1.200m) localizado no Alto Vale do Rio Negro na microrregião do Planalto Norte catarinense (INPE, 2009) (Figura 1). Para tanto, foram utilizadas áreas experimentais com plantios de *E. dunnii* com idades entre 2 e 5 anos de uma empresa florestal, que utiliza os mesmos para finalidade energética.

De acordo com Bognola (2007) Rio Negrinho está inserido no extremo Norte do estado, tendo como fronteira o estado do Paraná, e situando-se entre a Serra do Mar e o Patamar de Mafra. O relevo da região é quase plano, constituído de maneira predominante por superfície colinosa, que corresponde a resquícios de aplanamento. Kobiyama et al., (2007) relataram que a geologia é formada por rochas sedimentares paleozoicas.

Os solos da área são classificados como Cambissolos Húmicos Alumínicos típicos ou lépticos, com textura argilosa (BOGNOLA, 2008). Sendo esses caracterizados por apresentarem as seguintes características: pH: 4,28, Índice SMP:4,20, Ca⁽²⁾ (cmolc.^{dm-}

³):0,88, Mg⁽²⁾ (cmolc.dm⁻³):0,76, Al⁽²⁾ (cmolc.dm⁻³): 4,64, P Mehlich⁽²⁾ (mg [.dm-3]): 0,72, K⁽²⁾ (cmolc dm⁻³): 73,80, MO (%):3,45, CTC (cmolc dm⁻³): 6,46, CTC pH 7,0 (cmolc.dm⁻³): 36,32, Saturação por bases (%): 5,00, Saturação por Al (%): 71,84 e Argila (g kg⁻¹): 18,50 (FRIGOTTO, 2016).

Figura 1: Parcelas em florestas plantadas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. Em Rio Negrinho, SC.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2017).

Os dados utilizados no presente estudo são provenientes de povoamentos florestais instalados em dezembro dos anos de 2011, 2012 e 2013, os quais foram mensurados início de 2016, possuindo na época de coleta de dados 2, 3 e 4 anos de idade. Os indivíduos eram provenientes de mudas clonais de *E. dunnii*, denominado clone 7003.

Na implantação desses povoamentos as áreas sofreram preparo de solo pelo método do cultivo mínimo, isto é, com subsolagem de até 0,4 m de profundidade, realizada no espaçamento de 3,0m, sendo que, o plantio possuía espaçamento padrão de 3 x 2m (1.667 mudas por hectare). Juntamente com a subsolagem foi realizada a fosfatagem.

A adubação fosfatada foi realizada com Fosfato Natural Reativo de Arad ou Gafsa, com 28% de fósforo total, no valor de 0,4t/ha. A adubação foi distribuída no sulco principal

do plantio a uma profundidade de 0,30 à 0,40 cm, na profundidade da subsolagem. A calagem foi realizada com 4 t/ha.

O uso de NPK ocorreu da seguinte maneira:

- Plantio (6 - 30 - 6): Utilizaram-se 10 sacas de 50 kg/ha e ocorreu em duas fases, para que não fossem causados danos as mudas. A primeira aplicação foi de 05 a 10 dias após o plantio, com incorporação em dois pontos distintos a mais ou menos 10 cm da muda, 50g por ponto, ou seja, 100g na primeira aplicação.
- Segunda aplicação (6 - 30 - 6): Utilizaram-se 200g/planta, 90 dias após o plantio, ou quando a planta atingiu de 1,0 a 1,50m de altura em três pontos distintos ao redor da muda a distância de 0,50cm, também de forma incorporada.
- Terceira aplicação (20 - 0 - 20): Utilizaram-se 10 sacas/ha desta formulação para suprir o restante de nitrogênio e potássio. Esta formulação foi aplicada a lanço, a uma distância de 1,0m da planta. A mesma ocorreu no final do segundo ano após o plantio. Juntamente com o restante do calcário.

O plantio foi realizado manualmente sobre as linhas subsoladas, tendo sido realizados os tratos culturais comumente utilizados, como: roçada mecanizada ao final do primeiro ano após plantio e combate a formiga.

O clima da região é classificado como Cfb, ou seja, Temperado Úmido Mesotérmico, sem estação seca definida, com temperaturas médias anuais de 17°C, chegando no mês mais frio a -3°C e no mês mais quente não ultrapassando 22°C (ALVARES, 2014).

A flora da região pertence ao Bioma Mata Atlântica, inserindo-se entre as unidades Fitogeográficas de Floresta Ombrófila Mista e Floresta Ombrófila Densa. Sendo assim, a formação florestal possui exemplares das duas unidades, podendo-se citar a presença de: *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. kuntze, *Ocotea porosa* Nees et Martius Ex Nees, *Nectandra lanceolata* Ness. Et Mart. Ex Nees, *Ilex paraguariensis* St. Hil, *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer, *Aspidosperma olivaceum* Müll.Arg, *Alchornea triplinervea* (Spreng.) Müll. Arg., *Virola bicuhyba* (Schott Ex Spreng.) Warb, entre outras (KLEIN, 1979; SANTA CATARINA, 1986; IBGE, 1992).

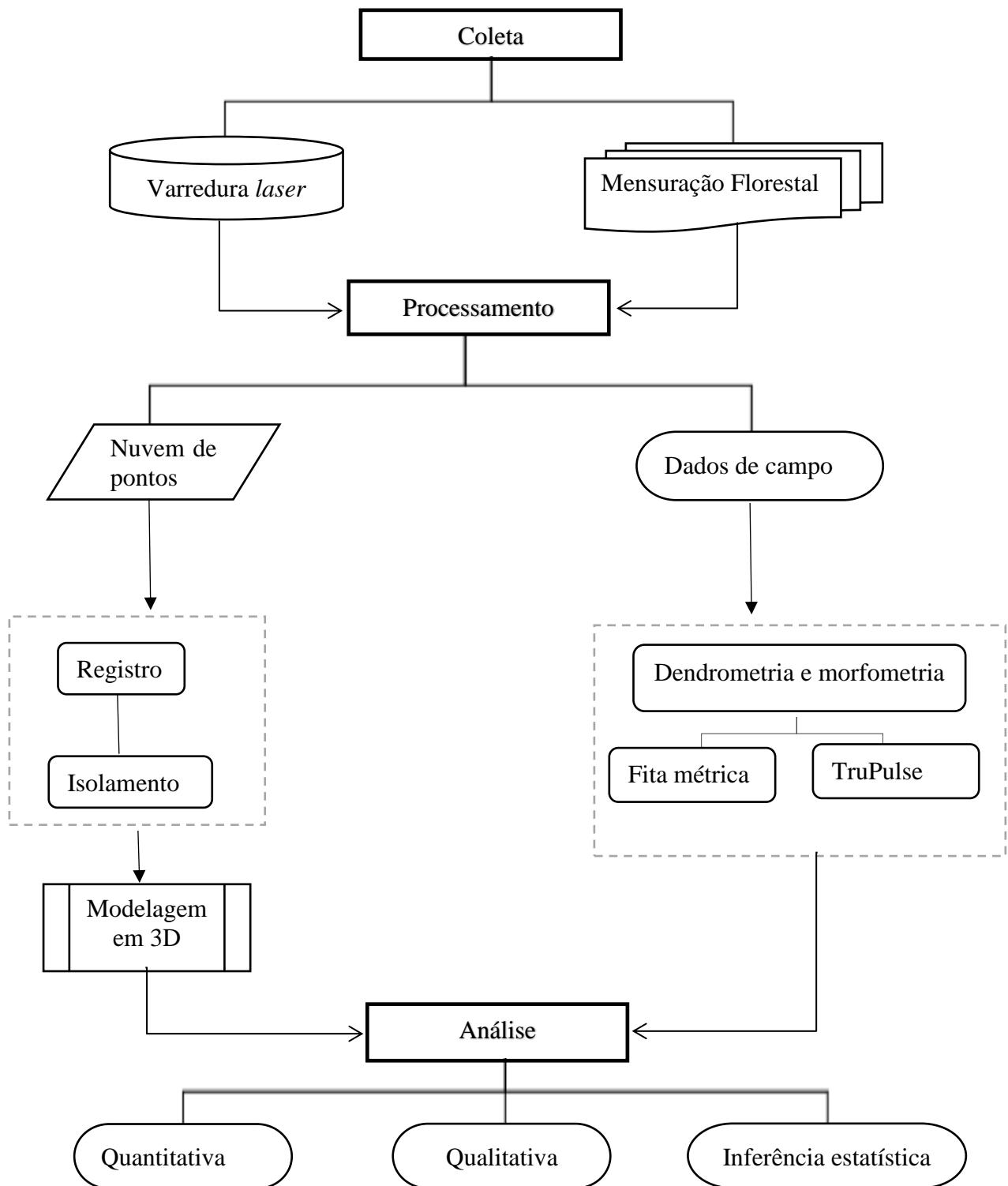
No entanto, com o passar do tempo, a região passou por diversas ações antrópicas fazendo com que a formação florestal ficasse restrita a remanescentes (GONÇALVES, 2011). Além disso, a região encontra-se intensamente cultivada com plantios florestais

homogêneos, principalmente dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, que são explorados para finalidades energética e moveleira.

5.2.2 Planejamento e execução do estudo

Para execução dessa parte do trabalho, foram definidas no planejamento, as seguintes etapas: coleta, processamento e análise de dados. Cada etapa definida no planejamento é caracterizada por atividades que foram organizadas visando a otimização do trabalho de campo e de escritório, conforme fluxograma apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma do estudo.



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

5.2.3 Instalação das unidades amostrais

As unidades amostrais foram instaladas nos povoamentos de *E. dunnii* com idades entre 2 e 5 anos. Para a obtenção dos dados, realizou-se a amostragem aleatória simples, através da instalação de unidades amostrais temporárias, com a instalação de parcelas quadrangulares de 400 m².

Em cada idade foi instalada uma parcela, a qual foi mensurada de duas maneiras: medições dendrométricas e morfométricas com fita métrica e TruPulse e varredura TLS com as árvores em pé, a qual foi realizada com o equipamento FARO FOCUS 3D S120.

Para a posterior análise e validação de resultados, as árvores limítrofes das parcelas foram demarcadas com tinta vermelha. Cabe destacar que na idade de dois anos as árvores tinham como característica a presença de galhos desde próximo a base do tronco. Nas demais idades a desrama natural estava ocorrendo, ou seja, sem tratos silviculturais. O sub-bosque das parcelas pode ser caracterizado pela presença de vegetação rasteira (gramíneas) e por pequenos arbustos, encontrados com maior frequência nos povoamentos de 4 e 5 anos de idade. Evidencia-se que antes da coleta de dados realizou-se uma roçada manual simples, assim como a retirada de galhos mais próximos do chão.

5.2.4 Coleta dos dados dendrométricos e morfométricos

Para cada árvore da unidade amostral mensurou-se a variável:

- Circunferência à altura do peito (CAP): obtida com o auxílio de uma fita métrica, em centímetros, a uma altura de 1,30m do solo. Posteriormente determinou-se o diâmetro à altura do peito (DAP) em centímetros por meio da equação 1:

$$DAP = CAP / \pi \quad (1)$$

Onde: DAP: diâmetro à altura do peito (cm); CAP: circunferência à altura do peito (cm).

Para 20% das árvores de cada parcela, além do *CAP*, foram obtidas as seguintes variáveis:

- Altura total (*h*): medida em metros, do solo até o topo da árvore, obtida com hipsômetro TruPulse (Figura 3);

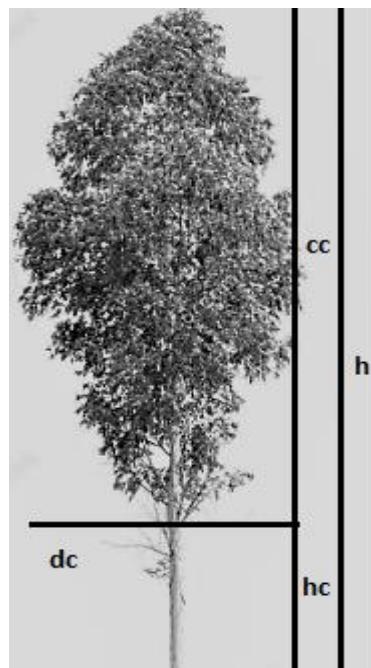
- Altura de inserção de copa (*hic*): obtida com o auxílio do hipsômetro TruPulse e determinada em metros, correspondendo a distância do solo até o primeiro galho vivo (Figura 3);

- Comprimento de copa (*cc*): determinado pela diferença entre a altura total e a altura comercial em metros, através da equação 2 (Figura 3):

$$cc = h - hic \quad (2)$$

Onde: *cc*: comprimento de copa (m); *h*: altura total da árvore (m); *hic*: altura de inserção da copa (m).

Figura 3 - Representação da altura total (*h*), de inserção de copa (*hic*), comprimento de copa (*cc*), e diâmetro de copa da árvore (*dc*).

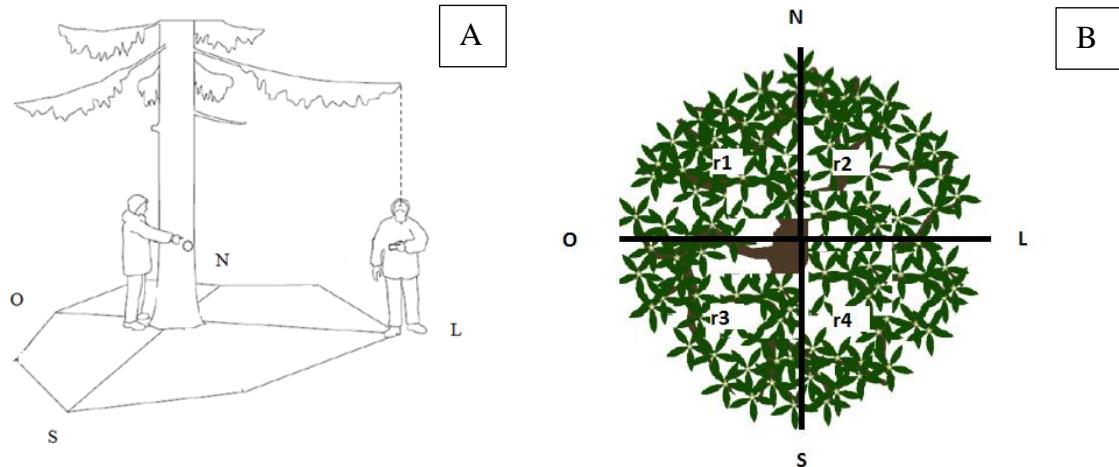


Fonte: Dreamstime (2017) adaptado.

- Raios de copa (*rc*): foram obtidos quatro raios de copa, em metros, nas seguintes direções fixas: Norte (N), Oeste (O), Sul (S) e Leste (L). Esse procedimento foi executado

com o auxílio do hipsômetro TruPulse e da orientação de uma bússola. Visando a melhor orientação nas posições cardinais, uma pessoa ficou na árvore indicando o local certo onde a outra pessoa deveria se posicionar, como pode ser observado na Figura 4:

Figura 4 - (A) - Método para obtenção dos quatro raios de copa; (B) - raios (r_1 , r_2 , r_3 e r_4) da projeção de copa obedecendo à orientação norte-leste-sul-oeste.



Fonte: (A) Pretzsch (2009) adaptado; (B) Weber (2013) adaptado.

- Diâmetro de copa (dc): foi determinado em metros, através da duplicação do raio de copa médio obtido com os quatro raios medidos a campo, conforme a equação 3:

$$dc = 2 * \overline{rc} \quad (3)$$

Onde: dc : diâmetro de copa (m); \overline{rc} : raio de copa médio (m).

- Área de copa (Ac): calculada em metros quadrados, com base nos valores dos raios de copa, como mostra a equação 4:

$$AC = \pi * rc_4^2 \quad (4)$$

Onde: Ac : área de copa circular com os raios Norte, Oeste, Sul e Leste (m^2); rc_4 : média de quatro raios de copa (m).

Para à análise de dados, tornou-se necessário estimar através de ajuste de equação, os valores de altura total, altura de inserção de copa, diâmetro de copa e área de copa para

80% das árvores de cada parcela. Para essa validação de dados, utilizou-se como variável independente o diâmetro à altura do peito, pois o mesmo foi obtido para todas as árvores analisadas. Como já apresentado no capítulo 2.

5.2.5 Coleta de dados por Varredura *Laser Scanner Terrestre (TLS)*

O equipamento utilizado no presente trabalho foi o FARO FOCUS 3D S120, que por sua vez foi posicionado a uma altura de aproximadamente 1,60 metros do solo (Figura 5), no centro e nos quatro pontos externos de cada unidade amostral.

Figura 5 - Equipamento FARO FOCUS 3D S120.



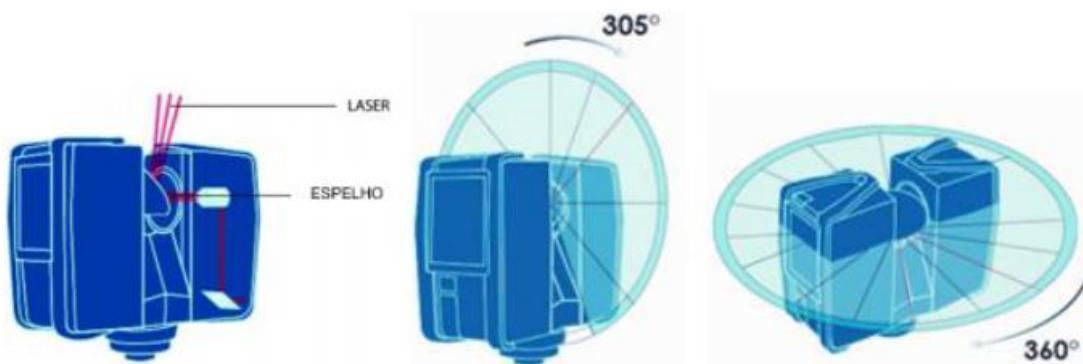
Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

O equipamento FARO FOCUS 3D S120 realiza captura de objetos de 0,6 m a 120 m de distância, com alta velocidade de medição com um máximo de 976.000 pontos de medição por segundo. As nuvens de pontos capturados e imagens são armazenadas em cartão de memória, sendo facilmente transferidos para um computador, sua fonte de alimentação é

através de uma bateria interna ou uma fonte de energia externa (LASER SCANNING EUROPE, 2016).

O *laser scanner* terrestre possui um sistema de varredura estática, e suas medições consistem em intervalos de tempo transcorridos desde o momento da emissão do pulso *laser* até o retorno do mesmo. Através do espelho de varredura estes pulsos são gerados e emitidos, direcionando o *laser* pelas janelas de abertura situadas na parte frontal e superior do equipamento (Figura 6).

Figura 6 - Representação da visada de campo do *laser scanner* terrestre.

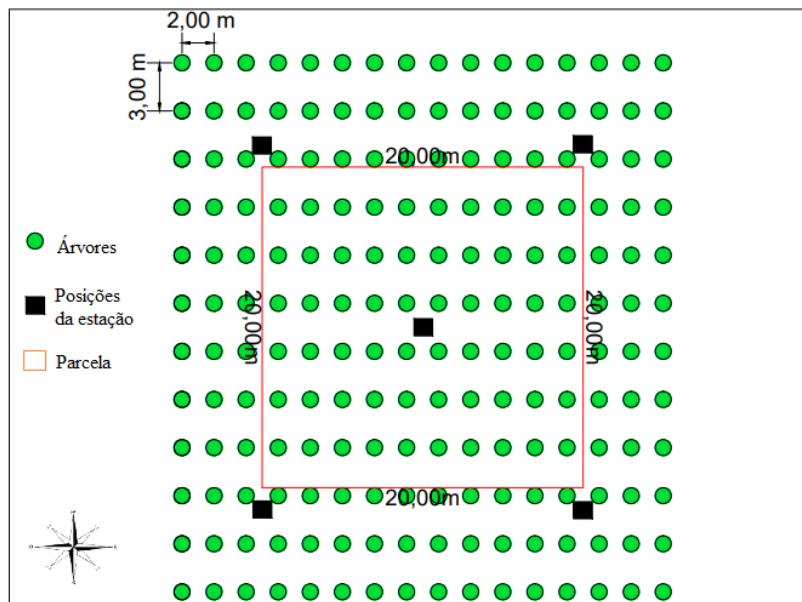


Fonte: FARO, 2011.

Para o número de varreduras detectar 100% das árvores da parcela, a instalação do equipamento para coleta de dados *laser* foi realizada em cinco posições, conforme representado pela Figura 7. A denominada estação de referência foi instalada no centro da parcela, e demais estações alocadas externamente ao perímetro da parcela. Sendo assim, pode-se afirmar que os dados obtidos foram amostrados através de varredura múltipla, a qual, segundo Thies e Spiecker (2004), consiste em uma coleta com mais de um ponto de varredura *laser* para um mesmo objeto, possibilitando um maior recobrimento da área.

O registro das nuvens de pontos é necessário quando se estabelece mais de um posicionamento de uma mesma cena, pois permite integrar as varreduras em um único arquivo. Assim ocorrerá maior cobertura de pontos nas árvores, diminuindo como consequência o efeito de sombreamento e promovendo melhorias da qualidade dos dados obtidos (ZHAO et al., 2011).

Figura 7 - Posicionamentos do equipamento utilizado para varredura em cada unidade amostral.



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

Cinco alvos esféricos de coloração branca e quatro tabuleiros de coloração branca e preta, foram posicionados em tripés a diferentes alturas dentro da área da parcela para auxiliar na etapa de registro das varreduras múltiplas. Vale ressaltar que a instalação dos alvos não seguiu um alinhamento específico, o requisito foi que pelo menos três alvos fossem comuns à duas varreduras adjacentes (Figura 8).

Figura 8 - Alvos alocados para o registro da nuvem de pontos.



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

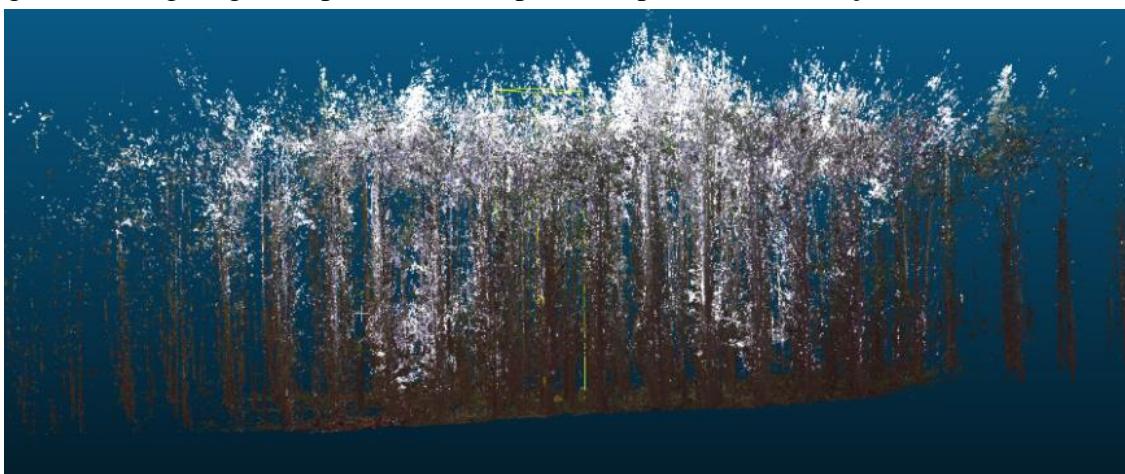
5.2.6 Processamento da nuvem de pontos

O processamento da nuvem de pontos ocorreu de maneira semi-automática, ou seja, fez-se necessária a interação do usuário com as ferramentas de seleção de pontos já desenvolvidas e implementadas via software. Para tanto foi utilizado o *software* Faro Scene. Inicialmente foi realizado o procedimento de registro, que segundo Buck (2016) promove a união da nuvem de pontos em um sistema de coordenadas comum. Somente é possível realizar o registro quando existem pontos fixados como referência espacial em todas as varreduras simples, neste estudo, esses pontos comuns são representados pelos alvos.

Para tanto, nessa etapa, o algoritmo buscou e identificou automaticamente na nuvem de pontos o formato do alvo esférico. Em alguns momentos o algoritmo incluiu outros objetos com formato próximo ao dos alvos. Desta forma, marcou-se manualmente na cena, os objetos que correspondiam aos alvos para proceder com a operação de registro.

Posteriormente foi gerado um novo arquivo para consolidar a união de nuvens de pontos tomadas a partir das diferentes estações laser em campo, o qual gerou a imagem em 3D conforme mostra a Figura 9. Evidencia-se que a nuvem de pontos resultante do procedimento de registro representou as árvores e todos os objetos que se encontravam presentes no campo de visada do laser no momento da medição. Para o processamento dos dados a partir da imagem 3D foi utilizada a extensão .e57 compatível com o *software* CloudCompare.

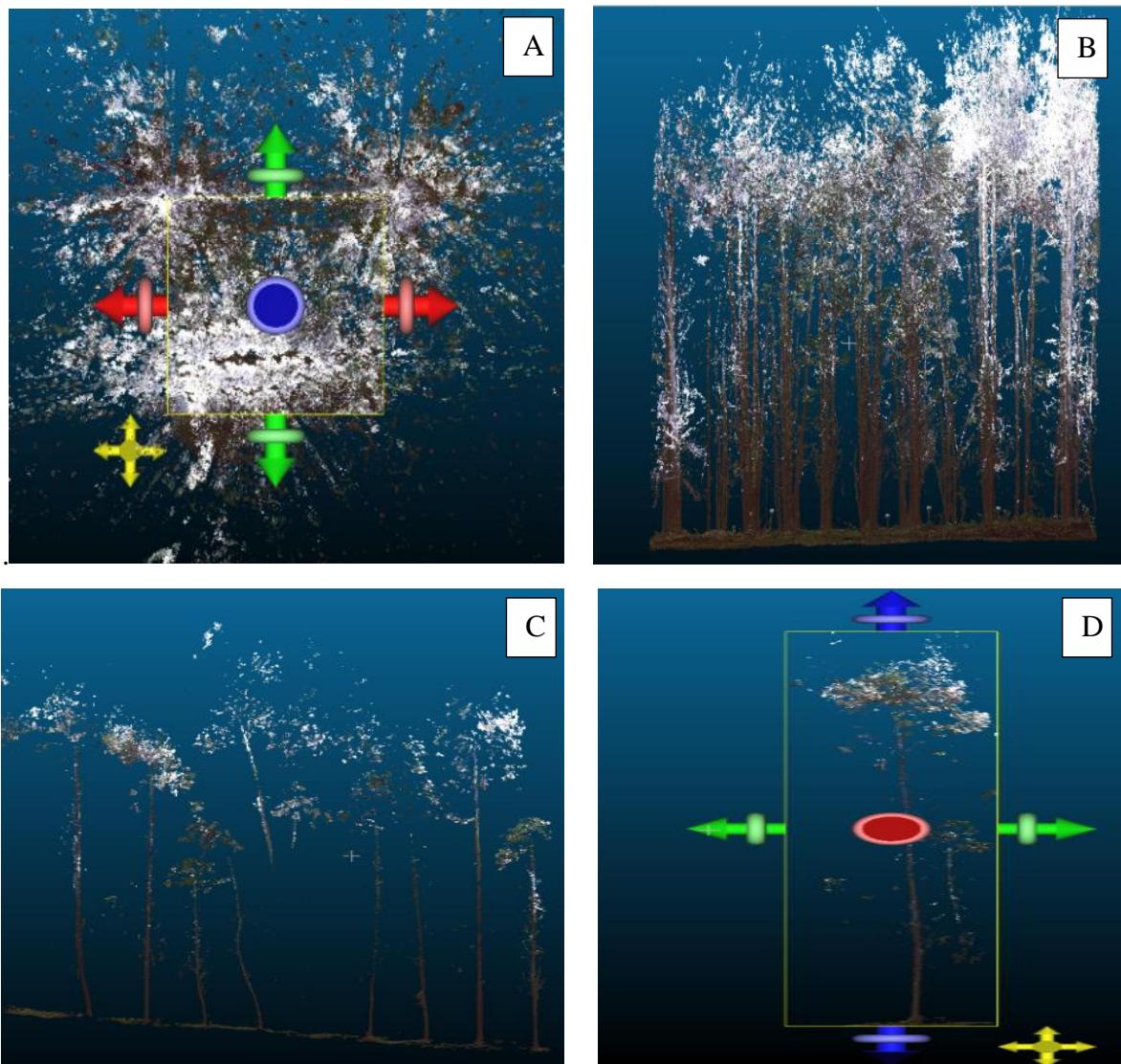
Figura 9 - Imagem gerada pela nuvem de pontos captada com a estação *laser*.



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

Depois de realizado o registro da nuvem de dados, para que fosse possível trabalhar com dados que representassem apenas a superfície da árvore, objeto de estudo, foi preciso identificar e isolar estes indivíduos na nuvem de pontos (BUCK, 2016). Este trabalho foi realizado de maneira semi-automatizada, utilizando ferramentas de edição (seleção e recorte). Para tanto, delimitou-se cada uma das parcelas, e posteriormente cada linha da parcela foi demarcada, para que por fim cada árvore a ser mensurada fosse isolada (Figura 10). Dessa maneira foi possível realizar a mensuração das variáveis dendrométricas e morfométricas através de projeções em um plano cartesiano tridimensional.

Figura 10 - Processo para isolamento de árvores na nuvem de pontos, (A) recorte da área correspondente a parcela; (B) alinhamento da parcela; (C) isolamento das linhas da parcelas e (D) isolamento e mensuração de cada indivíduo.



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

5.2.7 Ajuste de modelos hipsométricos e para diâmetro de copa

Para comparar o ajuste de modelos entre os valores coletados a campo e pela estação *laser* foi utilizado o diâmetro à altura do peito (*DAP*) como variável independente para estimar altura total (*h*) e o diâmetro de copa (*dc*). Utilizou-se para tanto a técnica dos Modelos Lineares Generalizados (*MLG*). Segundo Sousa (2010) nos Modelos Lineares Generalizados estão inclusos modelos cuja variável resposta pertence à família exponencial de distribuições.

Sendo assim, ao usar os *MLG*, ganhou-se maior flexibilidade para a relação funcional entre a média da variável resposta e o preditor linear. Na aplicação dos *MLG*, testaram-se os dois campos aleatórios, Normal e Gama, utilizando-se as funções de ligação identidade e logarítmica.

A significância e ajustamento dos modelos foram observados em função do desvio do modelo, valor do critério de informação de Akaike (AIC) e valor do critério de informação Bayesiano (BIC), dispersão dos resíduos e dispersão dos dados estimados em função dos dados observados.

Segundo Lee et al. (2006) e Weber (2013) o desvio do modelo, denominado também como *deviance*, consiste na distância entre o logaritmo da função de verossimilhança do modelo saturado e do modelo sob investigação avaliado na estimativa de máxima verossimilhança. Dessa forma, quanto menor o valor encontrado para o desvio, melhor foi considerado o ajuste.

No momento da escolha de um modelo Cordeiro e Lima Neto (2006) e Ricken (2014) enfatizaram que a análise gráfica dos resíduos é muito importante na avaliação da qualidade de ajustamento de um modelo. Além disso, a análise gráfica dos resíduos ajudar a identificar pontos irregulares, medindo o impacto dessas perturbações nas estimativas dos parâmetros. Evidencia-se ainda que através dos resíduos as discrepâncias entre os valores observados e seus valores ajustados podem ser avaliadas.

O AIC e o BIC, representam a ausência de generalidade do modelo e penalizam tanto a falta de ajuste aos dados quanto a alta complexidade do modelo. Sendo assim, foram considerados os menores valores de ambos os critérios na definição dos melhores ajustamentos dos modelos (AKAIKE, 1981). A medida AIC foi definida pela equação 5 e o BIC pela equação 6.

$$AIC = -2[\log(L) - p] \quad (5)$$

Onde p é o número de parâmetros do modelo, e L é o valor da verosimilhança para o modelo estimado.

$$BIC = -2[\log(L) - p \log n] \quad (6)$$

Onde p é o número de parâmetros do modelo, L é o valor da verosimilhança para o modelo estimado e n é o número de observações.

5.2.8 Análise de dados

As médias para os valores provenientes do inventário convencional em campo e por *TLS* foram submetidas ao teste t ao nível de 5% de probabilidade de erro, com auxílio do software Assistat 7.7. Avaliando-se assim a existência de diferença estatística entre os dois métodos das médias para cada variável mensurada. As demais análises foram processadas no pacote estatístico SAS 9.3.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Variáveis dendrométricas e morfométricas

A análise de variância juntamente com os valores médios, mínimos e máximos das variáveis dendrométricas e morfométricas para *E. dunnii*, demonstram o comportamento desta espécie nas idades de 2 à 5 anos, através de informações coletadas a campo pelo método convencional e por dados *TLS* (Tabela 1).

Foram constatadas diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade de erro entre os métodos de coleta de dados. Esse resultado mostra que a tecnologia *laser scanner* terrestre não se mostrou completamente eficiente em determinar variáveis dendrométricas e morfométricas para o conjunto de árvores amostradas.

Dessa forma, os valores para grande parte das medidas dendrométricas e morfométricas obtidas com a tecnologia *TLS*, mostraram-se superiores aos obtidos com o inventário tradicional, ou seja, as informações foram superestimadas. Isso ocorre, pois, o uso do *TLS* é limitado a pequenas áreas e também devido à dificuldade na obtenção de dados em florestas densas, mal manejadas e com presença de sub-bosque (LINGNAU et al., 2010; GATZIOLIS et al., 2010).

Tabela 1 - Comparação entre as mensurações a campo e com dados *TLS* das variáveis dendrométricas e morfométricas para indivíduos de *E. dunnii* em Rio Negrinho, SC.

Variável	Idade	Media <i>C</i>	Media <i>L</i>	CV%	<i>p</i> -valor	Mín. <i>C</i>	Mín. <i>L</i>	Máx. <i>C</i>	Máx. <i>L</i>
<i>DAP</i> (cm)	2	10,33 a*	11,04 b	18,28	0,1328	4,04	3,51	15,13	15,37
	3	11,48 a	21,48 b	53,95	<0,001	4,32	5,73	19,89	41,78
	4	10,60 a	13,78 b	28,59	<0,001	4,61	4,74	17,60	22,69
	5	16,98 a	20,17 b	36,45	0,192	2,03	8,66	27,02	32,37
<i>h</i> (m)	2	12,12 a	13,35 b	12,12	<0,001	8,44	6,39	13,70	17,15
	3	16,13 a	17,94 b	15,01	<0,001	10,45	9,74	22,80	21,00
	4	15,43 a	16,19 a	15,41	0,0762	10,67	7,91	20,98	20,27
	5	21,89 a	24,35 b	11,76	<0,001	18,04	11,92	24,78	28,79
<i>hic</i> (m)	2	7,51 a	7,97 a	22,05	0,1193	3,328	3,62	9,62	11,91
	3	11,41 a	8,68 b	28,58	<0,001	6,52	2,23	16,92	14,12
	4	10,82 a	11,61 b	18,85	0,034	6,72	5,33	15,50	14,27
	5	17,23 a	15,28 b	20,51	0,0038	15,07	5,96	18,65	22,47
<i>cc</i> (m)	2	4,63 a	5,37 b	30,99	0,0072	3,19	1,08	5,42	10,31
	3	4,71 a	9,25 b	37,36	<0,001	3,92	2,50	5,80	17,75
	4	4,61 a	4,57 a	24,78	0,8771	3,95	1,56	5,48	8,62
	5	4,65 a	9,07 b	38,11	<0,001	2,96	4,01	6,12	19,20
<i>dc</i> (m)	2	3,15 a	2,54 b	15,82	<0,001	2,10	1,01	3,61	3,83
	3	2,07 a	2,83 b	20,35	<0,001	1,58	1,57	2,65	5,09
	4	2,01 a	2,08 a	25,15	0,4861	1,60	1,00	2,49	4,00
	5	1,54 a	3,29 b	31,09	<0,0038	1,38	1,75	1,66	6,56
<i>Ac</i> (m ²)	2	7,87 a	5,32 b	28,77	<0,001	3,49	0,80	10,25	11,54
	3	3,43 a	6,66 b	47,55	<0,001	1,98	1,95	5,52	20,40
	4	3,23 a	3,77 a	53,82	0,1002	2,03	0,79	4,88	12,59
	5	1,88 a	9,40 b	80,12	<0,001	1,50	2,41	2,17	33,88

Onde: *C*: Dados obtidos de maneira tradicional no campo; *L*: Dados obtidos com auxílio de *laser scanner* terrestre; CV%: coeficiente de variação em porcentagem. *DAP*: diâmetro a altura do peito; *h*: altura; *hic*: altura de início de copa; *cc*: comprimento de copa; *dc*: diâmetro de copa; *Ac*: Área de copa *As médias seguidas pela mesma letra na horizontal não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste t ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

No entanto, nota-se que para informações relacionadas à altura, comprimento de copa, diâmetro e área de copa no povoamento com quatro anos de idade os dados obtidos nos dois métodos de mensuração, não apresentaram diferença significativa. Assim, é possível identificar a influência da idade nos resultados amostrados, pois, plantios mais avançados possuem copas estabelecidas, as quais proporcionam melhor visualização dos objetos na nuvem de pontos, o que garante maior acuidade na mensuração através de informações *TLS*.

Além disso, Li et al. (2014), observaram que a diferença encontrada entre os métodos de mensuração para a altura total está relacionada com a presença de galhos e alta densidade

das copas, o que impede obtenção de pontos dos indivíduos arbóreos, principalmente relacionados a plantios mais jovens.

Martins Neto (2016) ao comparar dados *TLS* com dados de campo para *Pinus taeda* L. concluiu que, as informações de *DAP* e *h* obtidas com o processamento da nuvem de pontos *TLS* foram superiores e diferentes estatisticamente as obtidas à campo, assim como no presente trabalho. De acordo com o autor, para dados *TLS* a filtragem é de suma importância para a eliminação de possíveis *outliers* presentes na nuvem de pontos.

Portanto, um processo deficiente de filtragem, pode acarretar em erros na altura total, assim como, dificultar o recobrimento dos pulsos *laser* nas regiões mais altas da árvore devido à densa copa e a presença de galhos.

De acordo com alguns estudos, não há uma tendência clara na superestimativa de dados de *h* obtidos por meio *TLS* (MAAS et al., 2008; LINGNAU et al., 2009; SILVA et al., 2011), pelo contrário, geralmente os mesmos são subestimados.

Apesar disso, Silva (2011) relatou que o erro de superestimativa, pode ser resultado da altura obtida pelo *TLS* ser mensurada diretamente pela diferença de cotas entre os pontos máximos e mínimos na nuvem de pontos. Ou seja, se existir um ponto isolado (*outlier*) fora dos padrões normais, à altura pode ser fortemente alterada em relação aos valores paramétricos, o que indica problemas de filtragem.

Para a variável *DAP* Pueschel et al. (2013) citaram que a presença de ruídos, como casca e galhos adjacentes ao tronco da árvore, tem influência na precisão de estimativa da mesma, assim como as próprias imperfeições do tronco. Cabe destacar que os plantios de *E. dunnii* considerados neste estudo não estavam ausentes de galhos, sendo necessária a exclusão de forma manual. Desse modo, pode-se relatar que resquícios da galharia permaneceram, o que pode ter afetado os resultados.

Em um estudo com *Eucalyptus* spp, Pesck (2015) também encontrou superestimativas dos diâmetros com dados *TLS*, sendo que para dois anos o autor relatou uma variação entre os métodos de 0,7 cm, e para 4,5 e 5,5 anos essa variação foi reduzida. O que não foi constatado no presente trabalho, uma vez que com o passar do tempo a variação entre dados *TLS* e campo convencional aumentou.

Os resultados referentes ao *DAP* também podem ser um indicativo de que a cota *TLS* de obtenção dessa variável, durante o processamento de dados foi tomada abaixo do ponto de medição do diâmetro em campo. Portanto, sugere-se que seja realizada uma marcação de campo no momento da obtenção do *DAP*, visando facilitar a obtenção da cota de forma

visual na nuvem de pontos. Torna-se evidente ainda, que a marcação do diâmetro a 1,30 metros a partir da base da árvore, possibilitará a realização da real validação da cota da base da árvore na superfície do terreno.

Em relação à *Hic* e *cc* detectaram-se variações significativas entre os dados obtidos a campo e com auxílio *TLS*. Buck (2016) ao avaliar o uso de dados *TLS* para estimativa do volume em plantios clonais de *Eucalyptus* spp. relatou que o vento tem influência significativa na nuvem de pontos de uma árvore, o que resulta na incorreta representação de seu tronco.

Esse efeito é maior em direção ao ápice da árvore, indicando que valores de alturas e também de variáveis de copa, podem ser afetados por esse fenômeno natural. Além disso, os valores encontrados pelo autor acima citado, eram subestimados pelo método *TLS* para *hic* em relação aos dados obtidos a campo, fato esse também constatado para as idades de 3 e 5 anos do estudo em questão.

Os valores médios de *dc* e *Ac* apresentaram-se maiores para as medidas obtidas com *TLS* quando comparadas as medidas do inventário convencional, com exceção da idade dois. Isso pode ser explicado pelo fato de que quando mais jovens as copas tendem a ocupar mais o espaço horizontal, e com menor altura de inserção, uma vez que a concorrência entre indivíduos é menor.

Com o passar do tempo, e aumento da competição, as copas tendem a iniciar em pontos mais altos do fuste e ficarem reduzidas. Aliando isso às explicações referentes à altura e que a densidade de folhas e galhos mesmo que secos, tornam-se os principais obstáculos à obtenção das medidas de copa (KLEIN, 2017), esse resultado torna-se compreensível.

Nota-se que foram encontrados resultados particulares em função da idade, o que enfatiza novamente que essa variável reflete nas informações obtidas com o uso *TLS*. Entretanto, de maneira geral os resultados obtidos mostram que, as varreduras realizadas para o levantamento das parcelas instaladas em povoamentos de diferentes idades não foram suficientes para o recobrimento ideal das árvores. Diversos foram os fatores que levaram a esse resultado, além dos citados, a técnica manual do processamento de dados pode ser mais um agravante, uma vez que a falta de treinamento do operador acarreta em viés das informações.

Recomenda-se que trabalhos com o uso de dados *TLS* sejam realizados em povoamentos maduros, próximos ao corte raso, sistemas silvipastoris, nativas em campo aberto, ou seja, situações em que a visibilidade do fuste e da copa são melhores, uma vez

que essa técnica mostou-se pouco eficiente para estimar variáveis da fase incial de desenvolvimento de *E. dunnii*. Além disso, mais estudos para aumentar o número e qualidade de informações obtidas e sanar as deficiências do emprego dessa tecnologia devem ser realizados, principalmente, no que se refere à filtragem e obtenção de dados de maneira automatizada.

5.3.2 Ajuste de modelos hipsométricos para dados coletados em campo e pela estação laser

A tabela 2 mostra as estatísticas para os modelos hipsométricos testados para os dados mensurados pelo método tradicional a campo e pela estação *laser* para as 4 idades analisadas, respectivamente. Para as medidas de campo, nota-se que a distribuição gama com função de ligação logarítmica foi a que apresentou melhor desempenho, com exceção da idade de 5 anos onde a distribuição normal com função de ligação identidade destacou-se. Já para as medidas *TLS* os melhores ajustes foram obtidos com a distribuição gama e função identidade.

Tabela 2 - Ajuste de modelos hipsométricos para medidas levantadas a campo e medidas *TLS* de *E. dunnii* em Rio Negrinho, SC.

Idade	Parâmetros		Dist.	FL	AIC	BIC	DESVIO
	B₀	B₁					
2 C	1,9769	0,0499	Gama	Log.	-188,371	-171,962	0,2657
3 C	2,1958	0,0497	Gama	Log.	24,1574	40,41167	0,0245
4 C	2,1749	0,0518	Gama	Log.	-14,9394	1,409375	0,0147
5 C	17,2643	0,2724	Normal	Id.	-128,177	-112,314	0,2830
2 L	6,6391	0,6018	Gama	Id.	249,1794	265,5587	1,0945
3 L	12,6022	0,2842	Gama	Id.	248,65	264,7709	0,7439
4 L	10,0222	0,4487	Gama	Id.	272,4546	288,8034	1,1115
5 L	16,8956	0,3800	Gama	Id.	248,5466	264,3706	0,8551

Onde: Dist: Distribuição; FL: Função de ligação; B₀: coeficiente linear; B₁: coeficiente angular; AIC: critério de Akaike; BIC: critério bayesiano.

Fonte: Próprio autor, 2017.

Os modelos hipsométricos ajustados para as medidas de campo em todas as idades apresentaram desvio menor que 0,3, assim como valores baixos para AIC e BIC, isso demonstra que os resultados encontrados foram satisfatórios. O mesmo não ocorreu para os ajustes feitos com as medidas *TLS*, que tiveram valores maiores de desvio e de AIC e BIC, quando comparados às mensurações a campo, demonstrando maior variabilidade dos dados. Esses resultados consolidam a diferença já apresentada, entre os dois métodos de

mensuração, demonstrando por conseguinte que o uso do *laser* pode vir a comprometer a veracidade na mensuração em inventários florestais.

De acordo com Martins Neto (2016) dados *TLS* conseguem recuperar as características dos troncos das árvores, tornando possível a obtenção da variável *DAP* para estimar a altura através de modelos hipsométricos. O autor ainda enfatiza que de forma geral esses modelos apresentam desempenho satisfatório e próximos aos obtidos pelo método tradicional de mensuração.

Os valores de h estimados apresentaram boa aderência aos valores obtidos no inventário florestal convencional, como pode ser observado na Figura 11. Essa figura ainda demonstra o ajuste da linha de tendência para as estimativas dos dados *TLS*. É possível notar que os modelos seguiram a inclinação de tendência dos valores observados, descrevendo dessa maneira o comportamento das medidas amostradas. Percebe-se então que tanto para as medidas de campo, como para as medidas *TLS* o ajuste dos modelos foi satisfatório. No entanto, o desempenho dos modelos para as medidas de campo foram melhores.

Figura 11 - Ajuste da altura total em função do diâmetro à altura do peito dos modelo selecionados para *E. dunnii*, para medidas obtidas por inventário convencional a campo e pela estação laser para as idades de 2,3,4 e 5 anos (Continua).

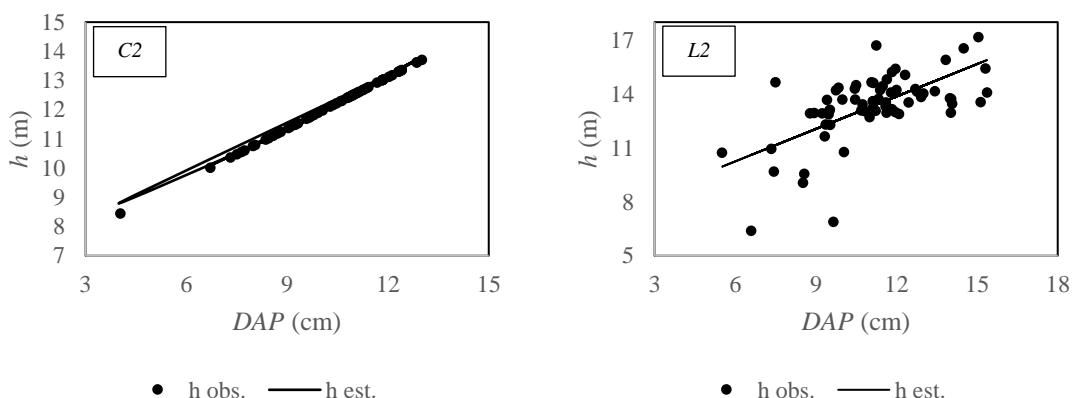
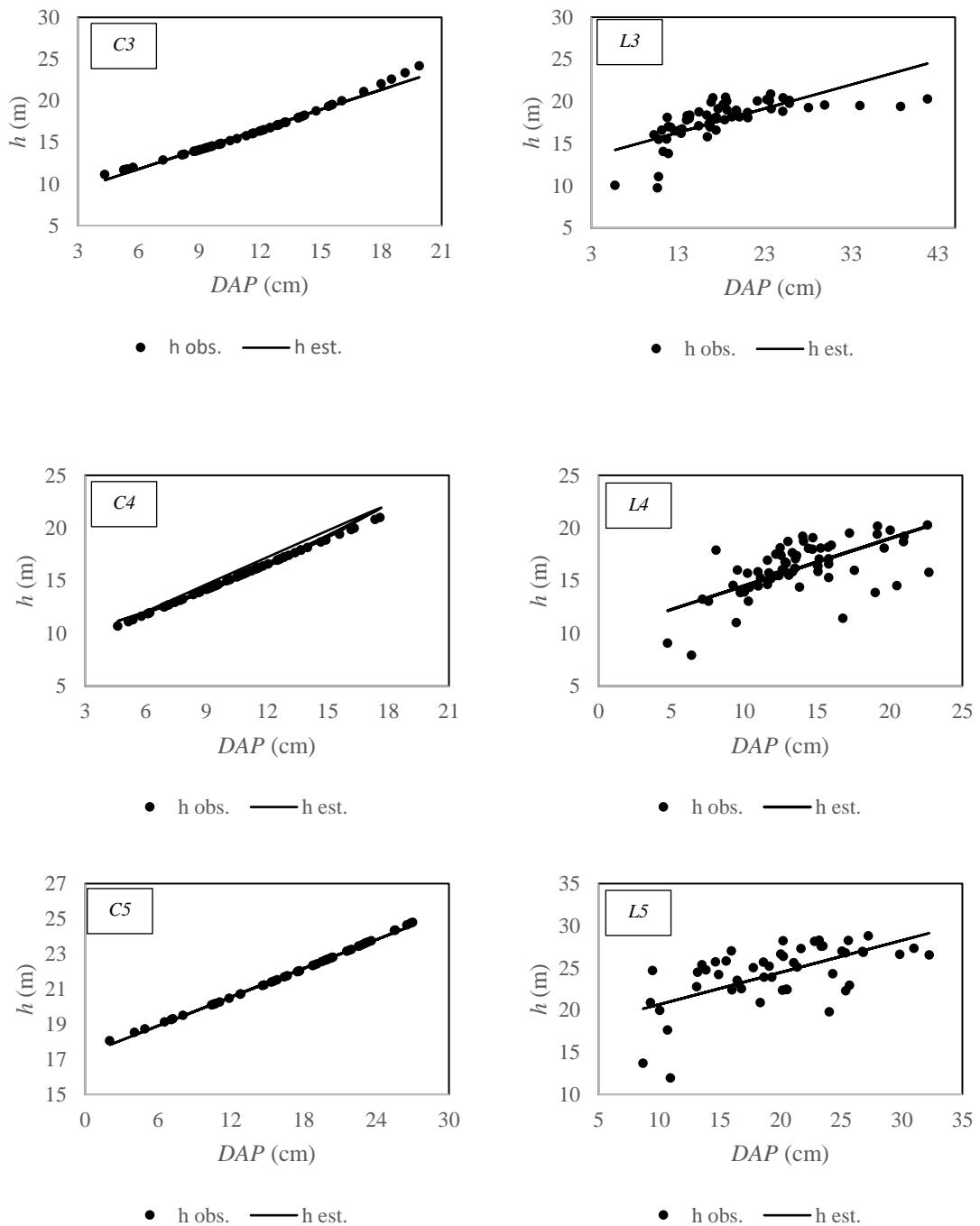


Figura 11 – Ajuste da altura total em função do diâmetro à altura do peito dos modelo selecionados para *E. dunnii*, para medidas obtidas por inventário convencional a campo e pela estação *laser* para as idades de 2,3,4 e 5 anos (Conclusão).



Onde: *C*: Dados obtidos de maneira tradicional no campo; *L*: Dados obtidos com auxílio de *laser scanner*; seguidos por números que correspondem as respectivas idades das árvores usadas para coleta de dados.
Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

5.3.3 Ajuste de modelos para diâmetro de copa de dados coletados em campo e pela estação *laser*

As estatísticas aplicadas para o ajuste dos modelos de *dc* pelo *DAP* são apresentadas na Tabela 3, para os dados obtidos a campo e pela estação *laser*, nas diferentes idades amostradas.

Tabela 3 - Ajuste de modelos para diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito para medidas levantadas a campo e medidas *TLS* de *E. dunnii* em Rio Negrinho, SC.

Idade	Parâmetros		Dist.	FL	AIC	BIC	DESVIO
	B₀	B₁					
2 C	0,5810	0,0548	Normal	Log.	-344,108	-327,699	0,0260
3 C	0,3564	0,0321	Normal	Log.	-343,963	-327,645	0,0197
4 C	0,3382	0,0338	Gama	Log.	-389,11	-373,095	0,0027
5 C	1,3579	0,0111	Gama	Id.	-508,979	-493,115	0,0019
2 L	0,2952	0,0567	Gama	Log.	87,011	103,3903	2,6426
3 L	2,4213	0,027	Gama	Id.	105,1536	121,2745	3,1123
4 L	0,5394	0,0139	Gama	Log.	121,506	137,8548	7,0813
5 L	0,7285	0,0228	Gama	Log.	120,3226	136,1466	3,8782

Onde: Dist: Distribuição; FL: Função de ligação; B₀: coeficiente linear; B₁: coeficiente angular; AIC: critério de Akaike; BIC: critério bayesiano.

Fonte: Próprio autor, 2017.

Para a mensuração a campo, realizada pelas técnicas e equipamentos tradicionais, predominou a eficiência do modelo composto pela distribuição normal com função de ligação logarítmica, para as idades 2, e 3 anos. No entanto, os dados coletados com a estação *laser* mostraram eficácia da distribuição gama com função logarítmica para 2, 4 e 5 anos e gama com função identidade para 3 anos.

As estatísticas apresentadas para os modelos de *dc* ajustados para a mensuração a campo, nas diferentes idades, apresentaram para desvio, AIC e BIC valores baixos, o que torna os ajustes mais eficientes e confiáveis. Entretanto, as medidas *TLS* indicaram altos valores para os parâmetros estatísticos, quando comparados às medidas de inventário convencional. Dessa forma, é possível identificar a variabilidade dos dados *laser* em relação ao inventário convencional.

Assim, a tecnologia *laser* para mensuração de variáveis morfométricas de *Eucalyptus* não apresentou resultados satisfatórios. Demonstrando a necessidade de melhor aferição e acuidade ao manusear o equipamento e programas exigidos para o processamento destes dados. Ainda, através das medidas obtidas, é possível constatar a evolução do *dc* em função

do *DAP*, ao longo da idade do povoamento, produzindo efeitos dependentes de diferentes variáveis, que influenciam na identificação dos dados na nuvem de pontos.

A Figura 12 representa o ajuste da linha de tendência para as estimativas das medidas coletados a campo e com a estação *laser*, sendo que, o *dc* apresentou bons resultados para sua estimativa. Assim, verifica-se que o comportamento dos dados seguiu a inclinação de tendência dos valores observados, o que demonstra um ajuste adequado.

Figura 12 - Ajuste da linha de regressão do diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito dos modelos selecionados para *E. dunnii*, para medidas obtidas por inventário convencional a campo e pela estação laser para as idades de 2,3,4 e 5 anos (Continua).

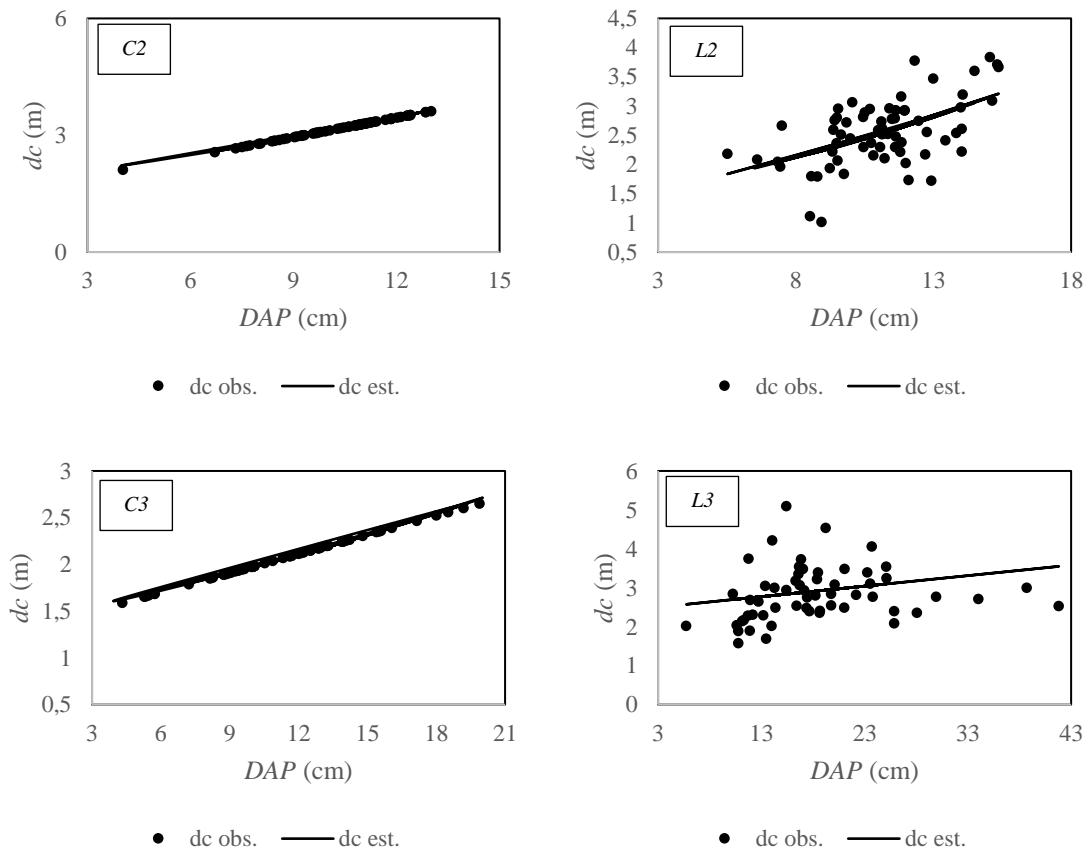
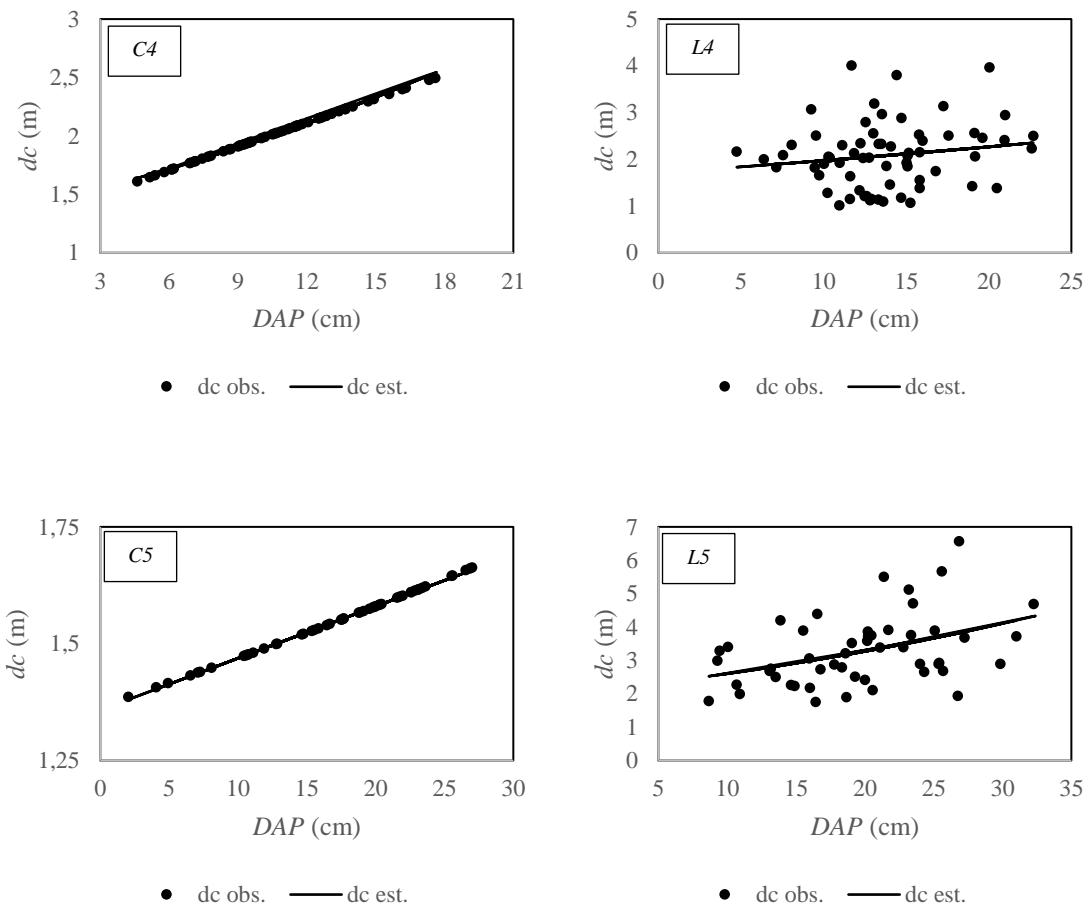


Figura 12 - Ajuste da linha de regressão do diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito dos modelos selecionados para *E. dunnii*, para medidas obtidas por inventário convencional a campo e pela estação *laser* para as idades de 2,3,4 e 5 anos (Conclusão).



Onde: *C*: Dados obtidos de maneira tradicional no campo; *L*: Dados obtidos com auxílio de *laser scanner*; seguidos por números que correspondem as respectivas idades das árvores usadas para coleta de dados.
Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

Nesse sentido, Wink et al. (2012), afirmaram a importância em gerar inferências sobre características de mais difícil medição a campo, pois, isso proporciona conhecer a dinâmica de crescimento de florestas de *Eucalyptus*, com o intuito de determinar diretrizes apropriadas de manejo, para obter a máxima produtividade dos povoamentos.

Além disso, o uso de novas tecnologias em mensuração, que visam o aprimoramento de técnicas tradicionais, vem como uma alternativa para aperfeiçoar os processos. No entanto, Gatziolis et al. (2010), afirmaram que mesmo os resultados do uso da tecnologia *laser* sejam promissores, há dificuldades encontradas para medições nas partes superiores

das árvores, devido as copas, o que leva a proposta de novos estudos para viabilizar a técnica como método de mensuração da morfometria de plantios florestais.

5.4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho mostraram que os valores médios para as variáveis dendrométricas e morfométricas de *E. dunnii*, coletados a campo através do inventário tradicional e amostrados pela estação *laser* apresentaram diferença significativa entre os dois métodos. Isso demonstra que as informações *TLS* não foram totalmente eficientes na mensuração do conjunto das árvores amostradas no estudo.

No entanto, comprehende-se que o uso de dados *TLS* é bastante promissor para área florestal, devendo seu potencial ser mais explorado. Para tanto, recomenda-se o aperfeiçoamento de pesquisas para a semi-automatização e ou automatização do processamento de dados e melhorias de filtragem, uma vez que o processo manual torna-se passível de erro com maior frequência do que o automatizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKAIKE, H. Likelihood of a model and information criteria. **Journal of Econometrics.** n.16, p.3-14, 1981.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift.** v.22, n. 6, 2014, p.711–728.

BIENERT, A.; MAAS, H.G.; SCHELLER, S. Analysis of the information content of terrestrial LASER scanner point clouds for the automatic determination of forest inventory parameters. In: Workshop on 3D Remote Sensing in Forest, 2006, **Anais...** 2006. p.14-15.

BOGNOLA, I.A.; RIBEIRO JUNIOR, P. J.; SILVA, E. A. A.; LINGNAU, C.; HIGA, A. R. Modelagem uni e bivariada da variabilidade espacial de rendimento de *Pinus taeda* L. **Floresta,** Curitiba, v. 38, n. 2, 2008.

BOGNOLA, I. A. **Unidades de manejo para *Pinus taeda* L. no planalto norte catarinense, com base em características do meio físico.** 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2007.

BUCK, A. L. B.; LINGNAU, C.; MACHADO, Á. M. L.; NETTO, S. P. Detecção de árvores em nuvens de pontos de varredura laser terrestre. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, n.1, p.21-38. 2017.

BUCK, A. L. B. **Modelagem de dados laser scanner terrestre para estimativa do volume em plantios clonais de *Eucalyptus* spp.** 2016. 145f. Tese (Doutorado Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2016.

CORDEIRO, G.M. E LIMA NETO, E.A. **Modelos Paramétricos.** Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Estatística e Informática, 94p. 2006.

FARO Technologies. Manual: **FARO Laser Scanner Focus3D.** 186 p. 2011. Disponível: https://doarch332.files.wordpress.com/2013/11/e866_faro_laser_scanner_focus3d_manual_en.pdf. Acesso em: julho de 2017.

FRIGOTTO, T. **Seleção de espécies/procedências e propagação vegetativa de *Eucalyptus* spp. na região Norte de Santa Catarina.** Dissertação (Mestre em Engenharia Florestal). 94f. Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2016.

GATZIOLIS, D.; POPESCU, S.; SHERIDAN, R.; KU, N. Evaluation of terrestrial LIDAR technology for the development of local tree volume equations. In: SILVILASER 10º. Freiburg. Proceeding. **Anais...** Freiburg, 2010.

GONÇALVES, M. D. P. M. **Avaliação socioeconômica e ambiental de sistemas de produção de *Mimosa scabrella* Benth e de *Pinus taeda* (L.).** Dissertação (Mestre em Ciências Florestais). 153f. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2011.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira.** Rio de Janeiro: Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 92p. (Manuais Técnicos em Geociências, n.1). 1992.

INPE - **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.** 2009. Disponível em: <http://bancodedados.cptec.inpe.br/climatologia/Controller>. Acesso em: 14/12/2016.

KLEIN, R.M. Ecologia da flora e vegetação do Vale do Itajaí. ***Sellowia*, Itajaí, v.31,** 164p. 1979.

KLEIN, D. R. **Morfometria e crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no Planalto Sul Catarinense.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). 122f. Universidade do Estado de Santa Catarina. 2017.

KOBIYAMA, M., CHECCHIA, T., CORSEUIL, C. W., LINO, J. F. L., LOPES, N. H. Y., GRISON, F., CHAFFE, P. L.B., MALUTTA, S., RIBAS JUNIOR, U., LANGA, R., BASSO, S. **Forest hydrology project (UFSC MOBASA) for water resources management in Rio Negrinho City, Santa Catarina, Brazil.** IAHS-AISH Publication, v. 315, p. 250-257. 2007.

LASER SCANNING EUROPE. **FARO Foco 3D 120.** 2016. Disponível em: <http://www.laserscanning-europe.com/en/glossary/faro-focus-3d-120>. Acesso em: janeiro de 2017.

LEE, Y.; NELDER, J.A.; PAWITAN, Y. **Generalized linear models with random effects:** Unified analysis via H-likelihood. London: Chapman & Hall, 2006. 396 p.

LI, Y.; HESS, C.; WEHRDEN, H.; HÄRDTKE, W.; OHEIMB, G. Assessing tree dendrometrics in young regenerating plantations using terrestrial LASER scanning. ***Annals of Forest Science***. France, 2014.

LICHTI, D. D.; GORDON, S. J.; STEWART, M. P. Ground-based laser scanners: operation, systems applications. **Geophys J Roy Astron Soc.** v.56, p. 21–33, 2002.

LINGNAU, C.; MACHADO, A. M. L.; BAVARESCO JÚNIOR, A.; COLLA, F. L. Modelagem do fuste em povoamentos de *Pinus taeda* a partir da varredura LASER terrestre. In: Ix Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal, 2010, Curitiba. **Anais...** v. 1. p. 111-118, 2010.

LINGNAU, C.; MURIEL, A.; MACHADO, L.; COLLA, F. L. Determinação de diâmetros em diferentes alturas de árvores individuais a partir de dados laser terrestre. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE 2009. p. 5031 – 5038.

LINGNAU, C.; NAKAJIMA, N. Y.; DAMAS, B.; SANTOS, D. S. DOS; VINHAL, L. A. Obtenção de parâmetros florestais através de laser terrestre – Novas perspectivas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007.

MAAS, H.-G.; BIENERT, A.; SCHELLER, S.; KEANE, E. Automatic forest inventory parameter determination from terrestrial LASER scanner data. **International Journal of remote sensing**, v. 29, n. 5, p. 1579–1593, 2008.

MARTINS NETO, R. P.; BUCK, A. L. B.; SILVA, M. N.; LINGNAU, C.; MACHADO, A. M. L.; PESCK, V. A. Avaliação da varredura LASER terrestre em diferentes distâncias da árvore para mensurar variáveis dendrométricas. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 19, n.3, p. 420 – 433, 2013.

MARTINS NETO, R. P. **Extração de variáveis dendrométricas em árvores de *Pinus taeda* l. a partir de dados TLS e ALS.** 187f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC, Lages - SC, 2016.

PEINHOPF, C. **Determinação de variáveis dendrométricas de *Eucalyptus urograndis* com dados LiDAR Aerotransportado.** 2012. 55f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Estadual do Centro – Oeste. Irati. 2012.

PESCK, V. A. **Aplicação da varredura laser terrestre em plantios clonais de *Eucalyptus* spp. para determinação do número de árvores e estudos diamétricos.** 2015. 85f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná – Curitiba. 2015.

PUESCHEL, P.; NEWNHAM, G.; ROCK, G.; UDELHOVEN, T.; WERNER.; HILL, J. The influence of scan mode and circle fitTING on tree stem detection, stem diameter and volume extraction from terrestrial LASER scans. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 77. 44–56, 2013.

RICKEN, P. **Incremento, espaço horizontal e competição em povoamento natural de Araucaria angustifolia no Planalto Catarinense.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). 105f. Universidade do Estado de Santa Catarina. 2014.

SANTA CATARINA (Estado) - Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral subchefia de Estatística, Geográfica e Informática (GAPLAN). **Atlas de Santa Catarina.** Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 1986, 176p.

SANQUETTA, C. R.; BEHLING, A.; DALLA CORTE, A. P.; FERNANDES, A. C.; BECKERT, S. M.; SIMON, A. A. Equações para Estimativa do Diâmetro de Copa para Acácia-negra. **Floresta e Ambiente.** Rio de Janeiro, vol. 21, n. 2, p.192-205, 2014.

SILVA, M. N. **Aplicação de LASER scanner terrestre para determinação de variáveis dendrométricas em Pinus spp.** 2011. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

SILVA, M. N.; BUCK, A. L. B.; LINGNAU, C.; MACHADO, A. M. L.; MIRANDA, B. P. Varredura *Laser* terrestre para determinação das variáveis dendrométricas da *Araucaria angustifolia*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba. *Anais...*Curitiba: INPE, 2011.

SILVA, M. N.; SILVA, M. N.; BUCK, A. L. B.; LINGNAU, C.; MACHADO, A. M. L.; MARTINS NETO, R. P.; PESK, V. A. *Laser scanner* terrestre para medições florestais – princípios e aplicações. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 65, n.6, p. 1143-1152, 2013.

SOUZA, K. M. M. **Modelos Lineares Generalizados e modelos de dispersão aplicados à modelagem de sinistros agrícolas.** Dissertação (Mestrado em Ciências). 66f. Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”. 2010.

THIES, M.; SPIECKER, H. **Evaluation and future prospects of terrestrial LASER scanning for standardized forest inventories.** International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. xxxvi – 8/w2. Freiburg, 2004.

WEBER, V. P. **Relação Morfométrica e de Competição no Crescimento de Ocotea porosa (Nees et Martius ex Nees) Liberato Barroso na região central de Santa**

Catarina. 2013. 101 f. Tese (Doutorado Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 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.**, v. 40, n. 93, p. 57-67 , 2012.

ZHAO, F.; YANG, X.; SCHULL, M. A.; ROMÁN-COLÓN, M. O.; YAO, T.; WANG, Z.; STRAHLER, A. H. Measuring effective leaf area index, foliage profile, and stand height in New England forest stands using a full-waveform ground-based lidar. **Remote Sens. Environ.**, v. 115, p. 2954–2964, 2011.

ZASADA, M.; STEREŃCZAK, K.; DUDEK, W. M.; RYBSKI, A. Horizon visibility and accuracy of stocking determination on circular sample plots using automated remote measurement techniques. **Forest Ecologyand Management**, v.302, p.171-177, 2013.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O *Eucalyptus dunnii* Maiden. tem-se destacado nos últimos anos pelo aumento do consumo de seus produtos, portanto, o manejo do mesmo torna-se essencial para que uma produção adequada seja alcançada. O trabalho permitiu inferir que os povoamentos estudados se encontram em condições de competição, principalmente no quarto ano.

A partir dos indícios da existência da concorrência entre as árvores analisadas foi possível construir um dendrograma de manejo da densidade, que indicou a necessidade de intervenções de manejo através da regulação da densidade das populações, por meio da execução de desbaste, auxiliando dessa maneira na condução do povoamento no tempo e espaço. Assim se garantirá a ocupação adequada do sítio, mediante um controle dos níveis de competição, compatibilizando com os objetivos de produção propostos.

As pesquisas ainda apontam para a necessidade da realização de novos estudos referentes à densidade de povoamentos de *Eucalyptus* e empregabilidade da tecnologia *laser scanner* terrestre para obtenção de dados dendrométricos e morfométricos.