

JACKSON VIDALETTI GABRIEL

**DIAGNÓSTICO DO CRESCIMENTO DE *Pinus taeda* L. SOB
REGIME DE DESBASTES EM LAGES/SC**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. André Felipe Hess

Lages, SC
2014

FICHA CATALOGRÁFICA

G118d Gabriel, Jackson Vidaletti
Diagnóstico do crescimento de *Pinus taeda L.*
sob regime de desbastes em Lages/SC / Jackson
Vidaletti Gabriel. - Lages, 2014.
81 p. : il. ; 21 cm

Orientador: André Felipe Hess
Bibliografia: p. 74-81
Dissertação (mestrado) - Universidade do
Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Florestal, Lages, 2014.

1. Dendrocronologia. 2. Crescimento. 3.
Produção. 4. *Pinus taeda*. I. Gabriel, Jackson
Vidaletti. II. Hess, André Felipe. III.
Universidade do Estado de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Florestal. IV. Título

CDD: 634.9751 – 20 ed

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Setorial do
CAV/UDESC

JACKSON VIDALETTI GABRIEL

DIAGNÓSTICO DO CRESCIMENTO DE *Pinus taeda* L. SOB REGIME DE DESBASTES EM LAGES/SC

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Banca Examinadora

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

Membro: Dr. Evaldo Muñoz Braz
(EMBRAPA/Colombo - PR)

Membro: Dr. Geedre Adriano Borsoi
(UDESC/Lages – SC)

AGRADECIMENTOS

Ao meu maior incentivador, meu pai Cléo Recks. Gabriel, com seus bons exemplos sempre me ensinou que a base para o sucesso é a dedicação e a persistência. Se hoje o objetivo foi concretizado, foi graças a ti, onde quer que esteja, estarás sempre comigo e serás sempre lembrado.

A minha mãe, Delaine M. Vidaletti Gabriel, pelo apoio e paciência, você é o alicerce da nossa família. Aos meus irmãos Jedson e Jordano, por todos momentos de descontração e força que passamos juntos.

A minha namorada, Roberta Marin, com seu amor, me incentivou e com a sua energia me deu força para superar os obstáculos. Com você ao meu lado vou mais longe, sempre.

Ao meu orientador Prof. Dr. André Felipe Hess, pela orientação, contribuição e condução dos trabalhos. Pela amizade, convivência e paciência nestes anos, mostrando os caminhos no desenvolvimento deste.

A colega dos tempos de graduação e pós-graduação, Myrcia Minatti, sua amizade e parceria sempre renderam bons frutos, pois sua determinação e pegação no meu pé, foram essenciais para mantermos todos os objetivos traçados.

Aos meus amigos, em especial meu grande irmão, Thiago Oliveira, que acreditou na minha capacidade e me apoiou nos momentos críticos, com seus conselhos e amizade verdadeira.

A todos que contribuíram para a realização deste, colegas do curso, Ramon, Jefferson e Zevir e os orientados e colegas, Aniele e Pollini.

Ao responsável pelo reflorestamento Sr. Marcelo Duarte, cedendo as áreas de estudo e dando atenção sempre que foi preciso.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.

Madre Teresa de Calcutá

RESUMO

GABRIEL, Jackson Vidaletti. **Diagnóstico do crescimento de *Pinus taeda L.* sob Regime de desbastes em Lages/SC**, 2014. 79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal - Área de concentração: Manejo Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2014.

O crescimento florestal de espécies plantadas em clima temperado pode ser analisado e quantificado com o auxílio de técnicas como a dendrocronologia. Busca alcançar pela análise dos anéis de crescimento, as datas, épocas, em que interferências ou intervenções de manejo foram realizadas, auxiliando na compreensão da dinâmica do crescimento, ou resultados do manejo para planejar intervenções futuras. O estudo da morfometria pode fornecer uma ideia do grau de concorrência de um povoamento, originando inferências sobre a estabilidade, vitalidade e a produtividade de cada árvore ou povoamento. Dessa forma, o objetivo do estudo foi avaliar o crescimento periódico e a reação aos desbastes, considerando a idade técnica da intervenção com base nas variáveis dendrométricas e anéis de crescimento, de um povoamento de *Pinus taeda L.* no município de Lages/SC, com 18 anos, com base da árvore de diâmetro quadrático médio (dg) e correlacionando com fatores ambientais e morfométricos para determinar o seu crescimento inicial, final e após os desbastes ocorridos. No inventário foram alocadas 23 parcelas onde se mediou o diâmetro a altura do peito (1,30 m) e a altura total de cada indivíduo para obtenção de parâmetros do povoamento e identificação da árvore dg. Após, foram definidas 85 árvores (Dgs), nesses indivíduos foram medidos parâmetros

morfométricos como: altura total, altura de inserção de copa e medição de quatro raios de copa, nas posições norte, sul, leste e oeste. As amostras foram retiradas para a análise através de um trado de Presller, o rolo de incremento pelo método não destrutivo. As amostras foram coladas, polidas e posteriormente com o uso do aparelho LINTAB foram medidos os seus anéis de crescimento, técnica utilizada na avaliação do ciclo de crescimento. As variáveis morfométricas calculadas foram: área de copa, proporção de copa, formal de copa, grau de esbeltez, índice de abrangência e índice de saliência foram modeladas pelo sistema estatístico SAS V. 9.3, em que a variável independente utilizada foi o incremento médio anual. Os resultados obtidos foram correlacionados através da função de Pearson, com o incremento periódico anual como variável independente. Os resultados obtidos através da Correlação de Pearson mostraram que o incremento tem correlação positiva para os parâmetros: área de projeção de copa 0,2605, proporção de copa 0,3438, índice de abrangência 0,2703 e índice de saliência de 0,2703 e correlação negativa: o grau de esbeltez -0,2037, para o. Para o ajuste dos modelos dendrométricos do incremento e diâmetro em função da idade foram utilizados os Modelos Lineares Generalizados, o modelo com melhor ajuste foi a distribuição Gamma(Log) para o incremento e Gamma(Identity) para o diâmetro. O incremento nos anos iniciais foi de 2,55 cm/ano e nos finais 0,68 cm/ano. O incremento médio anual em diâmetro das árvores estudadas foi igual a 1,4779 cm/ano, variando de 0,148 cm/ano a um incremento máximo de 7,261 cm/ano. Para o número ideal de indivíduos no povoamento, foi de 450 ind/ha, cerca de 45% acima do valor encontrado de 825 indivíduos por hectare. Para reação dos desbastes os valores foram de 15,52% para o primeiro desbaste e 13,11% para o segundo, interferindo em apenas aproximadamente 75% do total dos remanescentes. Conclui-se que os incrementos poderiam ter sido ainda maiores se as intervenções fossem

mais intensas e anterior aos desbastes realizados, retomando o crescimento individual e do povoamento.

Palavras-chave: Dendrocronologia, crescimento, produção, *Pinus teada*.

ABSTRACT

GABRIEL, Jackson Vidaletti. **Dendrochronology growth of *Pinus taeda L.* in different thinning intensities in Lages, Santa Catarina** 2014. 79p. Dissertation (MSc in Forestry - Area of concentration: Forest Management) - University of the State of Santa Catarina. Graduate Program in Forestry, Lages, 2014.

The growth of forest plantation species in temperate climates can be analyzed and quantified with the aid of techniques such as dendrochronology. Seeks to achieve the analysis of growth rings, dates, times, where interference or management interventions were carried out, aiding in understanding the dynamics of growth, or the outcomes of management to plan future interventions. The study of morphometry can provide an idea of the degree of competition in a settlement, yielding inferences about the stability, vitality and productivity of each tree or stand. Thus, the aim of this study was to evaluate the periodic growth and response to thinning, considering the age of the technical intervention based on dendrometric variables and growth rings of a stand of *Pinus taeda L.* in Lages / SC, with 18, based on the mean squared diameter (dg) tree and correlating with environmental and morphometric factors to determine their initial, final and after thinning occurring growth. Inventory in 23 installments where we measured the diameter at breast atura (1.30 m) and the total height of each individual to obtain parameters of population and identification of tree dg and that best represents dendrometric parameters in commercial plantations were allocated. After randomly 85 trees dg average of 29.76 cm (DG's) were defined, these individuals were measured morphometric parameters such as total height, crown height of insertion and measurement of four rays canopy positions in

north, south, east and west . Samples were withdrawn for analysis via a trunk Presller auger, to obtain the increment roller nondestructive. The samples were glued, and then polished using the machine were measured LINTAB their growth rings, a technique used in the evaluation of the growth cycle. The morphometric variables calculated were: crown area, crown ratio, crown formal, degree of slenderness, index scope and salience index were modeled by statistical system SAS V. 9.3, in which the independent variable used was the average annual increase . The results were correlated by Pearson function with the regular annual increase as the independent variable. The results obtained by Pearson's correlation were to crown projection area of 0.2605 to 0.3438 proportion of canopy, canopy for formal 0.0162 to the degree of slenderness -0.2037 for the index coverage rate of 0.2703 and 0.2703 boss. To adjust the dendrometric models increment and diameter depending on the age Generalized Linear Models were used, the model with the best fit was Gamma (log) distribution to increase ee Gamma (Indentity) for the diameter. The increase in the initial years was 2.55 cm / year and the final 0.68 cm / year. The average annual diameter increment of trees studied was equal to 1.4779 cm / year, ranging from 0.148 cm / year to a maximum increase of 7,261 cm / year. For optimal number of individuals in the stand was 450 ind / ha, about 45% above the value found in 825 individuals per hectare. For reaction of thinning the values were 15.52% for the first thinning and 13.11% for the second, interfering in only approximately 75% of the total remaining. It is concluded that the increase could have been even greater if interventions were more intense and the previous thinnings performed, resuming the individual and population growth.

Key-words: Dendrochronology, growth, production, *Pinus teada*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Alocação das parcelas do inventário realizado	48
Figura 2 Alocação das 77 árvores dominantes	50
Figura 3 Modelo esquemático utilizado para medição de variáveis morfométricas.	51
Figura 4 Elipses com os valores encontrados para a correlação de Pearson	60
Figura 5 Matriz do diagrama de dispersão das variáveis morfométricas	63
Figura 6 Distribuição dos dados de incremento para o teste de normalidade	64
Figura 7 Histograma da curva capability em função da distribuição Normal e Gamma	66
Figura 8 Variações do incremento em função da idade	69
Figura 9 Crescimento em diâmetro para os 77 indivíduos estudados	71
Figura 10 Distribuição dos resíduos do incremento	72
Figura 11 Relação entre a densidade ideal calculada para area	73
Figura 12 Incremento médio anual e o diâmetro médio, com o passar dos anos.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Correlação de Pearson entre as variáveis morfométricas	61
Tabela 2- Teste de White para Heteroscedasticidade	63
Tabela 3 Testes de Normalidade de Shapiro-Wilk	64
Tabela 4 - MLG testados para a variável increment	65
Tabela 5 - MLG testados para a variável diâmetro	68
Tabela 6- Crescimento após as intervenções realizadas.	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRAF	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
SBS	Sociedade Brasileira de Silvicultura
O	Oeste
S	Sul
MLG	Modelos Lineares Generalizados
H	Altura
DAP ou d	Diâmetro a altura do peito
Dc	Diâmetro de copa
GLM	<i>Generalized Linear Models</i>
SC	Santa Catarina
Cm	Centímetros
M	Metros
Há	Hectare
m ²	Metros quadrados
AIC	Critério de Informação de Akaike
BIC	Critério de Informação Bayesiano
TSAP	Time Series Analysis Program
Epagri	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	29
1.1 OBJETIVOS GERAIS	30
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30
2 REVISÃO DE LITERATURA	31
2.1 DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE	31
2.2 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM PARA ESTUDOS DE CRESCIMENTO FLORESTAL	34
2.3 CRESCIMENTO EM DIÂMETRO	35
2.4 CRESCIMENTO E ARQUITETURA DAS ÁRVORES	35
2.5 A ANÁLISE DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO	38
2.6 RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS	38
2.7 MORFOMETRIA DAS COPAS	39
2.8 VARIAÇÃO DA DENSIDADE	40
3 MATERIAL E MÉTODOS	42
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	42
3.2 LEVANTAMENTO DOS DADOS	44
3.3 INSTALAÇÃO DA UNIDADE AMOSTRAL	45
3.4 RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS	46
3.5 VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS	48
3.6 ÍNDICE DE DENSIDADE DE REINEKE	50
4 ÁNALISE DOS DADOS	51
4.1 ÁNALISE DO INCREMENTO: INICIAL, FINAL E MÉDIO	51
4.2 ÁNALISE DO EFEITO APÓS DESBASTES	51
4.3 Condicionantes para a escolha do modelo de regressão	52
4.4 TESTE DE WHITE	52
4.5 TESTE DE KOLMOGOROV SMIRNOV	52
4.6 TESTE DE ANDERSON-DARLING	53
4.7 TESTE DE DURBIN-WATSON	53
4.8 MODELAGEM E SELEÇÃO DAS EQUAÇÕES DO INCREMENTO EM FUNÇÃO DA IDADE	54
4.9 MODELAGEM E SELEÇÃO DAS EQUAÇÕES DO DIÂMETRO EM FUNÇÃO DA IDADE	54
4.10 DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS	55
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
5.1 ANÁLISE DA CORRELAÇÃO DE PEARSON	55

5.2 ESCOLHA DO MODELO DAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO	58
5.3 MODELAGEM E SELEÇÃO DAS EQUAÇÕES DO INCREMENTO EM FUNÇÃO DA IDADE	61
5.4 MODELAGEM E SELEÇÃO DAS EQUAÇÕES DO DIÂMETRO EM FUNÇÃO DA IDADE	64
5.5 INCREMENTO EM FUNÇÃO DA IDADE	66
5.6 ESTIMATIVA DA DENSIDADE IDEAL EM FUNÇÃO DA ÁREA DE PROJEÇÃO DE COPA	67
5.7 ÍNDICE DE DENSIDADE DE REINEKE	69
5.8 ANÁLISE DO CRESCIMENTO: INICIAL, FINAL E MÉDIO	70
5.9 ANÁLISE DO EFEITO APÓS DESBASTES	71
6. CONCLUSÃO	73
7. REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

As florestas plantadas desempenham um papel fundamental no mercado florestal brasileiro, obtendo destaque cada vez maiores em função da sua produção, garantindo o abastecimento de madeira nos mais variados diâmetros e dimensões exigidos, os quais estão diretamente ligados às formas de manejo no decorrer da sua rotação, buscando otimizar a utilização de acordo com as necessidades dos produtos finais que serão gerados.

A busca por produtos madeiráveis mais específicos, traz para o setor grandes desafios, pois além de atender o mercado, deve satisfazer os interesses dos investidores, que criam expectativas financeiras e buscam alcançá-las com o auxílio de técnicas de predição, o acompanhamento no manejo florestal e nos tratos culturais reforça quais os limites e expectativas para determinada região (ABRAF, 2013).

O Brasil sempre desempenhou grande papel florestal mundial com inúmeras espécies, das quais muitas eram nativas e tiveram o auge do seu ciclo até o inicio dos anos 60, onde nessa época houve um grande incentivo do poder público no desenvolvimento de políticas para subsidiar a implantação de espécies exóticas de alta produção, com a finalidade de abastecer o mercado florestal nacional. Nesse contexto as duas espécies que mais se destacaram foram o eucalipto e pinus, havendo diversos fatores que influenciavam no seu crescimento, necessitando de adaptação e melhoramento genético das mesmas.

As florestas plantadas existentes no Brasil totalizavam cerca de 6,5 milhões de hectares de florestas plantadas, dos quais 4,26 milhões de hectares são plantados com eucalipto e 1,87 milhão com pinus, sendo que destes 50% são da espécie *Pinus taeda*, os demais 0,37% dos plantios são de seringueiras, araucárias, acácias, tecas e outras espécies (SBS, 2009).

Em Santa Catarina, os plantios de pinus encontram na região fatores ambientais necessários para o seu rápido crescimento, tendo desenvolvimento superior aos locais de origem, bem como devido aos melhoramentos genéticos ao longo dos anos pelas grandes empresas investidoras dessa monocultura que se instalaram na região. A produção está em crescente ascensão em técnicas de manejo e condução, visando atender as diversas utilizações a fim de garantir o fornecimento de matéria prima para o mercado nacional e internacional.

A atividade de planejamento da produção de um plantio florestal, demanda a avaliação de diversos aspectos que exercem

influência direta ou indireta no custo final de produção, assim como na produtividade silvicultural. A ênfase no planejamento do uso dos recursos florestais, especialmente pelo seu conceito de longo prazo, se deve à necessidade de suprir as demandas de mercados. Dessa forma, é imprescindível ter-se um planejamento criterioso da produção, com a adoção de regimes de manejo adequados para cada espécie, condicionando uma mínima qualidade exigida pelo mercado consumidor (NETTO C. C., 2008).

O planejamento da produção florestal e, consequentemente, a simulação de uma série de regimes de manejo, pode ser facilitada pela avaliação da estrutura de um povoamento por meio de modelos de produção por classe diamétrica, permitindo a análise mais detalhada da predição do porte das árvores do povoamento (NETTO C. C., 2008).

Em 2012, a área ocupada por plantios florestais de Eucalyptus e Pinus no Brasil totalizou 6.664.812 ha, sendo 76,6% correspondente à área de plantios de Eucalyptus e 23,4% aos plantios de Pinus, no entanto no estado de Santa Catarina a área plantada é de 646.000 hectares, sendo que aproximadamente 83,5% é de plantio de pinus, ou seja 540.000, concentrados na sua maior parte nas regiões do planalto e oeste, ocorrendo em menores escalas em todo território catarinense, sendo responsável por 37,7% de toda produção nacional.(ABRAF 2013).

Após a crise florestal de 2006, os plantios de pinus veem retomando, de forma lenta e gradativa, o aumento no percentual de área plantada, com crescimento de 0,5% em 2012/2013. De acordo com as informações levantadas o crescimento médio para a região é de 40m³ há/ano (ABRAF, 2013).

Todavia o crescimento florestal está diretamente ligado primeiramente às técnicas utilizadas e a condução dos plantios até o corte raso. Intervenções como os desbastes são primordiais para aumentar a gama de produtos diferenciados, pois beneficiam o crescimento individual das árvores remanescentes, diversificando e agregando valor ao produto final, mesmo que diminua o volume final produzido, fato que traz maior retorno financeiro aos produtores.

As florestas plantadas no país produzem anualmente 1,4 bilhão de m³ de madeira, suprindo mais de 35% do consumo mundial. O uso da madeira ocorre em Papel e Celulose (53,5%), os segmentos mais representativos são o de Painéis de Madeira Industrializada e o de Produtores Independentes, que detêm, respectivamente, 24,4% e 15,9% da área plantada (ABRAF, 2013).

O crescimento de área em florestas plantadas, ainda depende de medidas estruturais que promovam a redução dos custos de produção e incentive o investimento, em aprofundar técnicas de manejo para maximizar a produtividade através das diferentes intervenções, buscando determinar o crescimento, bem como os fatores estruturais individuais e do povoamento, como a morfometria dos indivíduos, fatores ligados à densidade, intensidade de desbastes e desramas entre outros, como região para um diagnóstico mais confiável.

Para Assman (1970), a eliminação de árvores defeituosas causa elevação na produção de árvores bem formadas e um melhoramento na qualidade do tronco. O crescimento subsequente contribuiria para uma maior excelência do estoque e madeira mais valiosa, diversificando e elevando a qualidade da produção final.

A dendrocronologia procura alcançar, com grande precisão, a datas onde foram realizados os manejos realizados, se existiram ou não, auxiliando a tomada de decisões nos plantios florestais com a finalidade de obtenção de diferentes produtos. Além disso, permite o estudo da história e do clima passado, tendo como objetivo a identificação das datas de formação dos anéis mais estreitos e os mais largos, demonstrando o ano em que os eventos históricos ocorreram (COELHO, 2011).

O estudo propôs a utilização de apenas árvores dominantes, pois são aquelas que possuem maior vigor e representatividade dentro do povoamento florestal, dando confiabilidade às informações através do melhor desempenho no incremento que as codominantes ou dominadas. O povoamento de *Pinus taeda L.* em questão visa à produção de toras para serraria, devido à demanda do mercado, valorizando o reflorestamento. Estudo como este visa melhorar as técnicas de condução e manejo de plantios comerciais, buscando otimizar o crescimento de acordo com as características da região onde as mesmas estão inseridas, contribuindo para que as florestas resultem em investimentos economicamente viáveis quando bem manejados.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o crescimento dos plantios de *Pinus taeda* sob diferentes intensidades de desbastes e

atestar quais os parâmetros dendrométricos e morfométricos tem influência direta no desenvolvimento do povoamento.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o crescimento em função dos parâmetros morfométricos.
- Estimar a densidade ideal em função da área de projeção de copa
- Avaliar o crescimento periódico anual do povoamento de *Pinus taeda L.* após as intervenções realizadas e determinar quais fatores estão ligados diretamente com o desenvolvimento.
- Comparar os incrementos médios anuais nos cinco anos iniciais, após desbastes e cinco anos finais para determinar os padrões de crescimento para a região.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE

A espécie *Pinus taeda L.* pertence à Família Pinaceae, Ordem Pinales, Classe Pinopsida, sendo conhecida popularmente como pinus, pinheiro-americano ou pinheiro-amarelo é uma árvore caracterizada por ser uma árvore que pode atingir mais de 20 m de altura, com casca gretada, ramos acinzentados, acículas reunidas em grupos de três, com 15 a 20 cm de comprimento, de cor verde-escura. Seus cones masculinos são cilíndricos e amarelados e, os femininos, ovado-oblongos, sésseis ou subsésseis, muito persistentes e dotados de escamas espinhosas. As sementes são pequenas, cerca de 5 mm de comprimento, com alas de até 25 mm, tendo dispersão anemocórica.

De acordo com Shimizu (2005) na região de ocorrência natural do *P. taeda*, o clima é úmido, temperado-ameno, com verões quentes e longos, precipitação média anual que varia de 1.020 a 1.520 mm, com período livre de geadas variando de 5 meses na parte norte até 10 meses na parte costeira sul. As temperaturas médias anuais variam de 13 a 24°C, podendo chegar à mínima extrema de -23°C. Em geral, cresce em altitudes de até 800 metros.

No Brasil o gênero de pinus foi introduzido nos anos 50 com o objetivo de substituir a madeira de *Araucaria angustifolia*, as quais vinham sendo largamente exploradas, sendo rapidamente exauridos maciços florestais ocorrentes na região, transformando a ocorrência em árvores esparsas e fragmentos.

Os plantios de pinus foram incentivados pela implantação da política de incentivos fiscais aos produtores que tinham interesse nos final dos anos 60, promovendo a inclusão de espécies exóticas que pudessem ser usadas nas indústrias papeleiras e de madeira serrada. As regiões sudeste e sul foram às percussores, com as maiores áreas plantadas e até hoje desenvolvem a cultura. Os gêneros mais utilizados são eucalipto e pinus, o primeiro nas regiões centro-oeste, nordeste e o ultimo no sudeste e sul.

Neste cenário, as florestas plantadas assumem, cada vez mais, funções não apenas de produção, mas também de conservação, devido ao rápido crescimento e retorno financeiro aliado ao combate e à fiscalização do corte exploratório de vegetação nativa para retirada de produtos madeiráveis. Além de fornecerem matéria-prima para diferentes usos industriais e não industriais, presentes no nosso dia a dia, as florestas plantadas contribuem para a provisão de diversos serviços ambientais e sociais. Colaboram também para evitar a agressão aos recursos naturais por suprirem com suas madeiras o que estaria sendo extraído de matas nativas. Entender e otimizar as funções dessas florestas em todas as suas dimensões é fundamental para que se atendam as demandas futuras da sociedade de modo sustentável (SBS, 2009).

Segundo Karkach (2006) o crescimento pode ser entendido como um aumento de todo o organismo ou de partes dele com a idade. Neste contexto o crescimento de uma árvore pode ser entendido como uma mudança de magnitude de qualquer característica mensurável como diâmetro, altura, volume, peso ou biomassa, com o passar do tempo.

De acordo com Encinas, Silva e Pinto (2005) o ritmo de crescimento é influenciado por fatores internos (fisiológicos), externos (ecológicos) e pelo tempo. Estes ultimam sempre estarão atrelado ao crescimento e por este motivo que se procura conhecer a idade de uma árvore.

Os fatores necessários para o crescimento de uma árvore são a luz do sol, água, nutrientes minerais, uma temperatura adequada, oxigênio e dióxido de carbono, e a interação desses fatores influencia

diretamente a dinâmica de crescimento de determinada espécie, seja em florestas nativas ou em plantios (OLIVER; LARSON, 1996).

Anualmente, ocorrem variações dos múltiplos fatores que determinam a dinâmica de crescimento (foto período, temperatura, umidade do ar). Quanto mais favoráveis forem esses fatores, mais as árvores crescem. De acordo com Encinas, Silva e Pinto (2005) quando as condições ambientais são favoráveis ao desenvolvimento das árvores, estas expressam sua máxima capacidade de crescimento. Há, portanto, uma predisposição genética que orienta o crescimento, que por sua vez é regido pelo ambiente.

Para se estimar a idade das árvores podem ser aplicados diferentes métodos. Muitos silvicultores estimam a idade das árvores somente pelo porte ou aparência geral, embora isto exija um largo conhecimento sobre o comportamento das árvores plantadas ou regeneradas em uma dada região (KOEHLER, 2009).

Seguramente a forma mais precisa para estimar a idade de uma árvore e a contagem dos anéis de crescimento. Botosso e Mattos (2002) citam que em regiões de clima temperado os anéis de crescimento representam o incremento anual das árvores, sendo distintos o lenho inicial ou primaveril e o lenho tardio, outonal ou estival. Esta alternância pode ser visualizada facilmente nos troncos das coníferas, calculando o incremento através das diferenças dos lenhos.

2.2 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM PARA ESTUDOS DE CRESCIMENTO FLORESTAL

Duas metodologias são empregadas para o estudo do crescimento das árvores. Segundo Daniel e Yared (1987) o crescimento passado de uma floresta ou de povoamento florestal pode ser conhecido a partir de medições periódicas ou por meio da análise de tronco, para aquelas espécies que possuem anéis de crescimento visíveis.

As medições periódicas são realizadas por meio de inventários sucessivos, também denominados de múltiplas ocasiões (PELLICO NETTO; BRENA, 1997). Este sistema exige a instalação de parcelas permanentes, onde as árvores são numeradas e em intervalos constantes são medidos os atributos de interesse, geralmente altura e diâmetro.

O método de amostragem por área fixa é a seleção dos indivíduos feita proporcional à área da unidade de amostra e, consequentemente, a frequência dos indivíduos que nela ocorrem (PELLICO NETTO; BRENA, 1997). Tudo que é calculado numa unidade amostral de área fixa é extrapolado para a unidade de área (hectare).

2.3 CRESCIMENTO EM DIÂMETRO

Segundo Burger (1980), o crescimento em diâmetro, segue a tendência do crescimento em altura. No entanto, a espessura do anel de crescimento não é a mesma em todas as alturas da árvore. Larson (1963) elucidou várias questões sobre a relação entre a formação da copa, crescimento do caule e o afilamento do tronco, descobrindo que a partir do ápice do tronco a espessura do anel aumenta até a base da copa viva e deste ponto decresce até atingir cerca de 20% da altura da árvore, onde novamente aumenta até a base da árvore.

Segundo Fritts, citado por Kariuki (2002), o crescimento em altura e em diâmetro no ápice do tronco iniciam ao mesmo tempo, mas o crescimento em altura pode cessar antes do que o crescimento em diâmetro. Segundo o autor citado, a atividade e o montante de reguladores de crescimento produzidos antes da interrupção do crescimento em altura e que irá determinar o quanto ainda aumentara o diâmetro até o final da estação de crescimento. Consequentemente, o crescimento em diâmetro está diretamente relacionado com a grandeza e duração do crescimento em altura.

2.4 CRESCIMENTO E ARQUITETURA DAS ÁRVORES

Diversos estudos tem sido aplicados para entender o crescimento e a produção primária das árvores com base em modelos arquitetônicos. Halle (1999) afirma que os padrões de ramificação, o ritmo de crescimento, a orientação dos eixos de ramificação e a distribuição das partes reprodutivas são pontos chave para a determinação do modelo arquitetural de uma árvore.

Plourde e Krause (2004) realizaram um estudo com *Pinus banksiana Lamb.* no Canadá e concluíram que há diferenças na arquitetura entre as árvores crescendo em povoamentos implantados e aqueles oriundos de regeneração natural. Estes autores basearam seu estudo na hipótese de que a arquitetura da árvore representa um balanço entre o processo de crescimento (fatores endógenos) e o “stress” imposto pelo ambiente (fatores exógenos), complementando as informações geradas pelo estudo dos anéis de crescimento.

King et al. (1997) mostraram algumas relações existentes entre o espaçamento dos galhos e o crescimento em espécies tropicais, em diferentes condições de exposição à luz. Por sua vez, Kantola e Makela (2006) estudaram a proporção de biomassa para *Picea abies Karst.* e concluíram que existe uma relação direta entre a área basal dos galhos e o diâmetro no ponto de inserção destes no tronco.

Osada e Takeda (2003) afirmam que a arquitetura dos ramos esta relacionada com a posição dos galhos e a altura da planta. Os autores discutem que espécies com ramos plagiotropicos possuem uma estratégia de partição destes no plano vertical, devendo haver uma estratégia diferente de alocação de carbono para as árvores jovens, visto que nessa fase sua arquitetura é diferente da fase adulta. Indica também o autor a proporcionalidade existente entre o crescimento da área foliar e o crescimento em altura da planta, controlado pelo tamanho e numero de folhas.

Szymura (2005) estudando possíveis relações entre a idade, a arquitetura da copa, a altura e o incremento em altura de *Abies alba* (Mill.) concluiu que o comprimento da copa esta diretamente relacionado com o incremento em altura, embora a idade não esteja correlacionada com nenhuma das variáveis analisadas. O autor ainda esboçou uma avaliação da vitalidade das árvores baseado na arquitetura das copas.

As árvores dominantes são aquelas que possuem copa bem desenvolvida e se encontram no povoamento florestal principal. Essas árvores possuem, na maioria das vezes, copas de menor comprimento em comparação com as árvores codominante e dominadas, pois o sombreamento causado pela parte superior da copa sobre a parte inferior faz com que essa seja eliminada, diminuindo a área de projeção de copa. Por isso, geralmente, as árvores dominantes com área de projeção de copa pequena, são aquelas de maior eficiência (STERBA, 2006).

2.5 A ANÁLISE DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO

A dendrocronologia é a ciência que estuda os anéis de crescimento formados pelas árvores. Ainda, interpreta e analisa o crescimento anual das árvores, além de representar, um dos métodos mais utilizados e precisos para datação. As delimitações anuais, chamados de anéis de crescimento, são formados graças à sensibilidade que algumas espécies vegetais têm ao meio ambiente, permitindo que alterações de temperatura, umidade, radiação solar, entre outros, fiquem registrados na anatomia do lenho dos indivíduos (GONÇALVES, 2007).

Nos estudos dendrocronológicos utiliza-se métodos e técnicas que possibilitam a datação cronológica do vegetal através dos anéis de crescimento anual (WORBES, 1995). Tal estudo compreende também os fatores climáticos, nutricionais e atmosféricos que interferem no crescimento das espécies. Estas interferências são representadas na variação da largura dos anéis (BOTOSSO & MATTOS, 2002).

A aplicação da dendrocronologia, para plantios de pinus é uma técnica relativamente nova na América do Sul, mas o seu desenvolvimento veem crescendo durante as últimas décadas. Os primeiros estudos com anéis de crescimento de árvores foram realizados na regiões temperadas da Patagônia. Muitos cientistas foram atraídos pela possibilidade de desenvolvimento de longas cronologias, em áreas onde a forte sazonalidade na temperatura induz a dormência no inverno e formação de anel anual em muitas espécies de árvores (ROIG & VILLALBA, 2008).

Esta técnica fornece valiosas informações, tais como: determinação da idade, classificação de sitio, estudo da forma, cálculo dos incrementos, rotação e resposta ao desbaste (DANIEL; YARED, 1987).

Para análise dos anéis de crescimento, existem algumas técnicas como a obtenção dos dados na forma de discos e de uma forma destrutiva, afinal o indivíduo deve obrigatoriamente ser derrubado, sendo em muitos casos fator limitante para execução de estudos, como neste caso, fato que obriga a utilizar o método de retirada do rolo de incremento como alternativa, utilizando o Trado de Pressler que retira apenas um baguete cilíndrico do tronco, mantendo a árvore viva. Existem limitações no procedimento não destrutivo, pois não é possível a verificação de falsos anéis, por exemplo, porem como todos os indivíduos serão medidos os dois lados, pois trado retirará o rolo de

incremento com os dois lados da árvore, será possível comparar os mesmos e definir os falsos anéis. Sendo extremamente importante na obtenção das características individuais e para avaliação comparativa do crescimento dos plantios, podendo ser feita a relação entre o crescimento e os aspectos ambientais envolvidos no decorrer da rotação.

2.6 RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS

O estudo da morfometria busca o conhecimento do espaço vital ocupado por cada árvore, o que fornece uma ideia do grau de concorrência de um povoamento e permite, ainda, gerar inferências sobre a estabilidade, a vitalidade e a produtividade de cada indivíduo (DURLO; DENARDI, 1998). Daí pode-se também buscar inferências a respeito da qualidade do sítio.

O diâmetro de copa é uma variável básica para dedução de outras características das árvores e corresponde à distância entre as linhas de projeção dos pontos mais externos da copa (NUTTO, 2001). Esta informação é utilizada para calcular o espaço vital de uma árvore. Segundo Nutto (2001) o crescimento e expansão da copa estão intimamente relacionados com o crescimento em diâmetro do tronco.

O volume de copa, calculado pelo sólido que mais se assemelha à sua forma, assim como o manto de copa, calculada como a área superficial deste mesmo sólido, podem, igualmente, ser usados para estimar o vigor de crescimento. Contudo, muitos autores defendem a eficiência da projeção da copa como melhor variável no caso de se estimar algum dado parâmetro de produtividade (DURLO; DENARDI, 1998; NUTTO, 2001).

A relação entre o diâmetro de copa e o DAP foi denominada índice de saliência, conforme proposta de Durlo e Denardi (1998). Esse índice expressa quantas vezes o diâmetro de copa é maior que o DAP. Estudos indicam que o acompanhamento do grau de correlação entre estas variáveis serve de indicativo do momento ideal do desbaste (TONINI; ARCO-VERDE; 2005; DURLO; DENARDI, 1998).

Outra variável morfométrica e a relação entre o diâmetro da copa e a altura total da árvore. Durlo e Denardi (1998) denominaram esta relação como índice de abrangência e indicaram sua potencialidade como indicador do momento do desbaste, desde que se comprove haver uma correlação positiva entre estas variáveis.

Por fim é possível ainda calcular o formal de copa, que expressa a relação entre o diâmetro da copa e sua altura. Quanto menor o formal de copa melhor e a produtividade da árvore (DURLO; DENARDI, 1998), uma vez que, considerando duas árvores da mesma espécie, aquela que tiver o menor formal é mais produtiva.

Pellico-Netto (1986) fez uma importante proposição de aproveitamento de algumas variáveis morfométricas para o cálculo da densidade de um povoamento. Em sua formula leva-se a altura da planta, a porcentagem de copa e o índice de abrangência modificado, nesse caso, expressando a razão entre o diâmetro de copa e a altura de copa, obtendo bons resultados na avaliação da densidade do povoamento.

2.7 MORFOMETRIA DAS COPAS

As formas e as dimensões das árvores e a sua modificação, com o tempo, adquirem nova importância, dada a possibilidade de comporem modelos de concorrência e de crescimento (PRETZSCH, 1995).

No meio florestal, características dimensionais: diâmetro à altura do peito, área basal, altura total, altura do fuste, área de projeção de copa e o volume da copa são conceitos bem conhecidos. Menos conhecidos, contudo, o são: o manto de copa, o índice de abrangência, o formal de copa, o grau de esbeltez, o índice de saliência e o índice de espaço vital, citados por Assmann (1970).

No estágio atual de desenvolvimento do manejo de espécies florestais nativas, o conhecimento da morfometria, das relações morfométricas e da dinâmica das formas das árvores tornam-se imprescindíveis para aprimorar as intervenções silviculturais, de modo especial, quando se deseja tornar efetiva a utilização de espécies da flora nativa em reflorestamentos com interesses econômicos (ROMAN et al., 2009).

A utilização de regimes de manejo baseados na árvore individual não é comum no Brasil, especialmente em plantios comerciais. No entanto, esta é uma prática bastante adotada em países europeus, onde se originaram os estudos da relação entre as copas das árvores e a eficiência em incremento diamétrico ou em área basal.

A definição da quantidade de árvores a permanecer ao final da rotação pressupõe conhecer o espaço ideal necessário para que cada uma desenvolva-se até o período de corte. Com esse objetivo, as relações morfométricas entre diâmetro de copa, porcentagem de copa, comprimento de copa exposto à luz e altura de árvores dominantes em povoamento de *Pinus taeda L.* (PADOIN e FINGER 2010).

2.8 DESBASTE E VARIAÇÃO DA DENSIDADE

A competição decorrente da densidade é frequentemente considerada como sendo uma avaliação em que o potencial da planta é prejudicado ou favorecido, potencializando ou reduzindo o desenvolvimento da planta vizinha (DRAPER e GUTTMAN, 1980; HUHN, 1973).

Os índices de competição estimam a competição total para as árvores mais próximas as quais afetam o desenvolvimento de outro indivíduo. Tais índices usualmente levam em conta, direta ou indiretamente, o número de competidores, o tamanho do indivíduo, o tamanho do competidor e a distância entre os competidores (PIUTTI e CESCATTI, 1997; MANGNUSSEN, 1994).

Para manipular a competição entre os indivíduos de um povoamento florestal, o silvicultor deve utilizar técnicas de desbaste eliminando as árvores que não terão futuro, pois possuem ma formação de fuste (SCHNEIDER, 2004).

Conforme Assmann (1970), o efeito do desbaste, especialmente sobre a qualidade do tronco e desenvolvimento da copa, depende também do inicio e da frequência das intervenções subsequentes. Além disso, o desbaste inicial pode interferir no incremento acelerando o crescimento. Desse modo, a idade na qual os desbastes começam e de grande importância.

Para Scolforo et al. (1997), os objetivos da execução de um desbaste são: aumentar o espaço entre as árvores diminuindo a competição e evitando a ocorrência da mortalidade com consequente retomada no crescimento; atenuar o estresse das árvores, como forma de proteção ao ataque de pragas e doenças; obter uma produção intermediária ao longo da rotação; e, aprimorar o padrão das árvores remanescentes com a retirada daquelas de menor porte e defeituosas.

O desbaste, sobretudo no caso do gênero *Pinus*, é uma das mais importantes opções silviculturais, influenciando o crescimento e a produção por meio do vigor, da qualidade e do tamanho das árvores, associado com a regulação da densidade. A representação do desbaste por meio de modelos matemáticos e uma opção consistente e objetiva para implementação de simulações de desbastes mediante de sistemas de crescimento e produção, facilitando análises econômicas para definir um regime ótimo de manejo (SCOLFORO e MACHADO, 1997).

Os desbastes aumentam o espaço de crescimento de cada árvore no talhão e, depois de um período durante o qual este aumento de espaço se faz efetivo, também ocorre um aumento da dimensão da copa. De fato, a largura da copa e o comprimento absoluto e relativo da mesma são incrementados. Depois de desbastes intensos, a média do volume das árvores individuais, assim como o volume total de copa no talhão, aumentam consideravelmente (ASSMANN 1970).

A decisão sobre a execução dos desbastes, muitas vezes tem sido feita de maneira empírica na região, baseados nos conhecimentos adquiridos a campo. Conforme Lamprecht (1990), a decisão da idade do desbaste de forma empírica é determinada após um período de tempo em que as copas já estão se tocando. Sendo assim, o método empírico de desbaste local depende apenas da visão e do conhecimento do engenheiro em relação à floresta.

De acordo com Alves (1982), há maior influência no crescimento e na produção quando se executa um desbaste pesado em povoados jovens, enquanto que ocorre o contrário em povoados mais velhos. Por isso, o maior rendimento somente será obtido se a intensidade de desbaste for maior em povoados mais jovens do que em povoados de maior idade.

Para Scolforo et al. (1997), os objetivos da execução de um desbaste são: aumentar o espaço entre as árvores diminuindo a competição e evitando a ocorrência da mortalidade com consequente retomada no crescimento; atenuar o estresse das árvores, como forma de proteção ao ataque de pragas e doenças; obter uma produção intermediária ao longo da rotação; e, aprimorar o padrão das árvores remanescentes com a retirada daquelas de menor porte e defeituosas. De modo similar, conforme Scheeren (2003), o principal objetivo do desbaste é distribuir o potencial de crescimento do sitio florestal para um menor número de árvores selecionadas pelas suas melhores características e vigor de crescimento, de vitalidade e qualidade do

fuste, evitando que os indivíduos com menor vigor utilizem os recursos disponíveis no sitio florestal.

Conforme o mesmo autor, com a utilização do desbaste, pode-se melhorar a qualidade do povoamento, mas o volume total sera menor. Porém, árvores de maiores dimensões possuem um maior valor comercial por metro cúbico, pois a serraria desdobra uma determinada quantia de tábuas com menos custos e perdas.

Alem disso, os custos com transporte são menores se um determinado volume de madeira estiver concentrado em poucas árvores.

O desbaste, sobretudo no caso do gênero *Pinus*, é uma das mais importantes opções silviculturais, influenciando o crescimento e a produção por meio do vigor, da qualidade e do tamanho das árvores, associado com a regulação da densidade. A representação do desbaste por meio de modelos matemáticos e uma opção consistente e objetiva para implementação de simulações de desbastes mediante de sistemas de crescimento e produção, facilitando análises econômicas para definir um regime ótimo de manejo (SCOLFORO e MACHADO, 1996).

Estudos realizados por Sanquetta et. al (1998), em povoados de *Pinus taeda*, submetidos a diferentes tipos de desbaste, mostram que um dos métodos mais utilizado para essa espécie é baseado na redução do número de árvores por hectare de forma sistemática, seletiva por baixo ou a combinação das duas formas.

No entanto existem poucos estudos sobre as intensidades de desbastes que devem ser aplicadas em determinadas regiões, como a do planalto catarinense, onde a análise técnica é substituída pelo empirismo regional, sabendo que o desbaste é parte fundamental que propicia o crescimento dos indivíduos com maior potencial de desenvolvimento, resultando num produto diferenciado agregando maior valor aos plantios.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é um plantio de *Pinus taeda L.* com 18 anos, na região de Lages/SC com área de aproximadamente 900 hectares, submetidos a dois desbastes com intensidades de 33% cada, sendo

realizados entre os anos de 2002/2003 e 2007/2008 e uma desrama de 6 metros. As coordenadas do local são 27°46'19"S e 50°21'34"O.

O município de Lages está inserido na parte sudoeste da região geomorfológica do Planalto Centro-Oriental de Santa Catarina. Limita-se a noroeste, oeste e sudoeste com a unidade geomorfológica Planalto dos Campos Gerais, cujo contato, em alguns trechos, é feito por escarpas. Caracteriza-se por um relevo de dissecação homogênea em forma de colina, homogeneidade esta só quebrada pela presença de alguns morros testemunhos, como o morro do Tributo, com uma cota altimétrica de 1.200m, enquanto que na maior parte da unidade as cotas variam entre 850 e 900m. Cambissolo Húmico e Terra Bruna Estruturada, são os solos mais disseminados no domínio desta unidade (EMBRAPA, 2004).

Os solos da região são fortemente ácidos, com baixa reserva de nutrientes, principalmente nos horizontes inferiores onde é menor a influência exercida pela matéria orgânica, podendo ser correlacionado com o tipo de rocha-matriz, sendo normalmente superiores a 15% em se tratando de efusivas básicas e intermediárias, e pouco superiores a 12% quando derivados de rochas efusivas ácidas ou de sedimentos pelíticos referidos ao paleozóico. Estes solos ocupam normalmente as superfícies mais elevadas e aplainadas das microrregiões Campos de Curitibanos, Campos de Lages, Colonial do Rio do Peixe e Colonial do Oeste Catarinense, constituídas por colinas de vertentes em centenas de metros e com declives normalmente compreendidos entre 3 e 8%. São encontrados quase sempre em altitudes superiores a 900 metros, estando sob a influência de um clima subtropical úmido, com precipitação média anual superior a 1.600mm, comumente com geadas e nevoeiros freqüentes e nevadas ocasionais, tendo por cobertura ora vegetação do tipo campo subtropical, ora floresta subtropical de ou com araucária, ou a associação destas formações.

A região é classificada segundo Köeppen como clima Cfb, temperado constantemente úmido, com verão, sem estação seca. A temperatura média anual varia de 13,8 °C a 15,8 °C. A precipitação pluviométrica total anual pode variar de 1.360 mm a 1.600 mm e a umidade relativa do ar varia de 80% a 83% (Epagri, 2002).

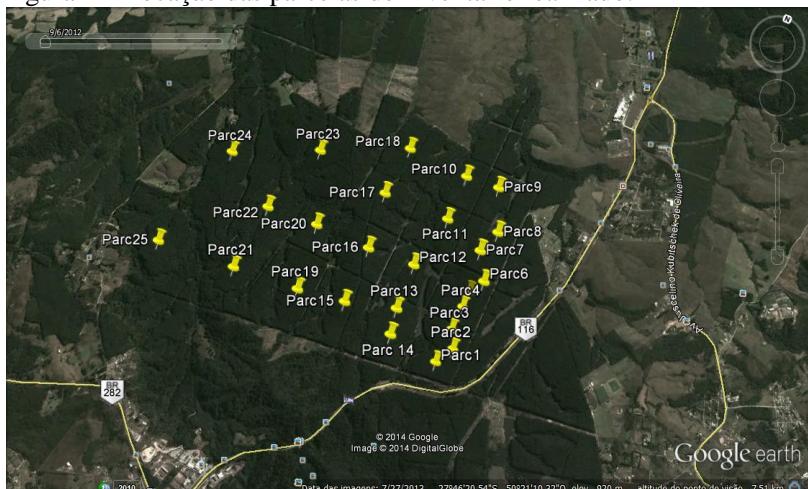
3.2 LEVANTAMENTO DOS DADOS

Foi realizado inventário florestal na área de estudo aplicando-se método da área fixa, com parcelas quadradas de 400m². A suficiência amostral para a área foi de 23 parcelas, sendo que levantando os dados dendrométricos como diâmetro altura do peito e altura total para efetuar os cálculos de suficiência amostral e escolha das árvores mais representativas dentro do povoamento.

Em todas as árvores foram determinadas:

- a) Identificação árvore: a cada árvore atribuiu-se uma sequência ordinal e marcação geográfica com GPS;
- b) Diâmetro à altura do peito (d): primeiramente, foi medido o CAP com fita métrica, em centímetros, a 1,30 m acima da superfície do solo que, após, foi transformado em diâmetro à altura do peito;
- c) Altura total (h): medida com TRUPULSE 200, com precisão em décimos de metros;

Figura 1- Alocação das parcelas do inventário realizado.



Fonte: Google Earth 2013, modificado por Gabriel, J. V. (2014).

Com estes dados foi possível chegar ao diâmetro da árvore Dg 29,76 cm, sendo efetuada nova saída a campo para retirar os rolos de incremento com o trado de Pressler a 1,30m do solo na posição norte, com auxilio de uma bússola e realizando a coleta dos seguintes parâmetros morfométricos:

- a) Altura total (h): medida com TRUPULSE 200, com precisão em décimos de metros;
- b) Altura de inserção de copa (hc): medida com TRUPULSE 200, com precisão em décimos de metros;
- c) Medição de quatro raios de copa (este, oeste, norte e sul): medida com TRUPULSE 200, com precisão em décimos de metros;

Essa medição realizada na segunda etapa buscou 77 árvores dominantes dentro da unidade amostral.

Para avaliar a intensidade amostral da área e saber o número de parcelas suficientes que deveriam ser medidas para que represente toda a área, foi utilizada a seguinte equação (SANQUETTA et al., 2009).

$$N = \frac{t^2 Sx^2}{E^2}$$

Sendo:

n = número de unidades amostrais a ser medido;

t = valor de t de student tabelado;

Sx^2 = variância;

$E = (LE * \bar{x})$, LE = limite do erro de amostragem admitido, \bar{x} = média aritmética dos valores observados.

3.3 INSTALAÇÃO DA UNIDADE AMOSTRAL

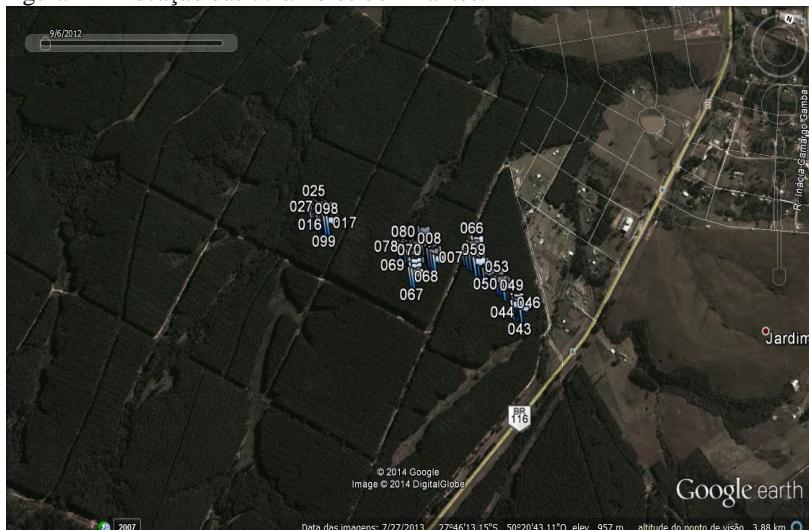
As árvores foram selecionadas de forma aleatória, onde todas as árvores com diâmetro de 29,76 foram medidas com o auxílio do TRUPULSE: a altura total, altura de inserção de copa, 4 raios nas direções norte, sul, leste e oeste.

Posteriormente foram retirados os rolos de incremento a 1,30m da superfície, na direção norte, com o trado de Pressler (método não destrutivo) atravessando a árvore para obtenção dos dois sentidos de crescimento, casca-medula e medula-casca.

Os rolos de incremento retirados foram colocados em porta baguetas, fixando-os com fita crepe para evitar a quebra das amostras e marcando o local e número do indivíduo. No laboratório, as amostras

foram fixadas com cola nos porta baquetas e enroladas com fita crepe nas extremidades e centro para evitar o empenamento durante a secagem, após, os rolos de incremento foram secados em temperatura ambiente e posteriormente lixados, para melhor visualização dos anéis de crescimento. Com o lápis foi marcado os anéis para melhor visualização e com o auxílio de um microscópio estereoscópico fez-se a medição do incremento, realizado na mesa de mensuração (LINTAB 6.0 – *Frank Rinn Distributors*, Alemanha), os dados de incremento foram registrados pelo *Software TSAP (Time Series Analysis Program)*.

Figura 2 - Alocação das 77 árvores dominantes.



Fonte: Google Earth 2013, modificado por Gabriel, J. V. (2014).

3.4 RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS

Do conjunto de árvores medidas individualmente foram ainda medidas variáveis morfométricas, com base nos trabalhos publicados por Durlo e Denardi (1998), Tonini e Arco-Verde (2005) e Orellana e Koehler (2008), sendo estas:

-Altura da inserção da copa (IC): altura de inserção do primeiro galho vivo da copa (m);

-Comprimento de copa (Cc) – Diferença entre a altura total da árvore (m) e a altura de inserção da copa (m);

-Diâmetro de copa (Dc)– Duas vezes o valor do raio médio de projeção da copa (m);

-Proporção de copa ($Cc/h * 100$) – Relação entre o comprimento da copa e a altura total da árvore, em porcentagem;

-Índice de saliência (IS)– Relação entre o diâmetro da copa e o diâmetro a altura do peito;

-Índice de abrangência (IA) – Relação entre o diâmetro de copa e a altura total da árvore; e

-Formal de copa (FC) – Relação entre o diâmetro de copa e o comprimento de copa.

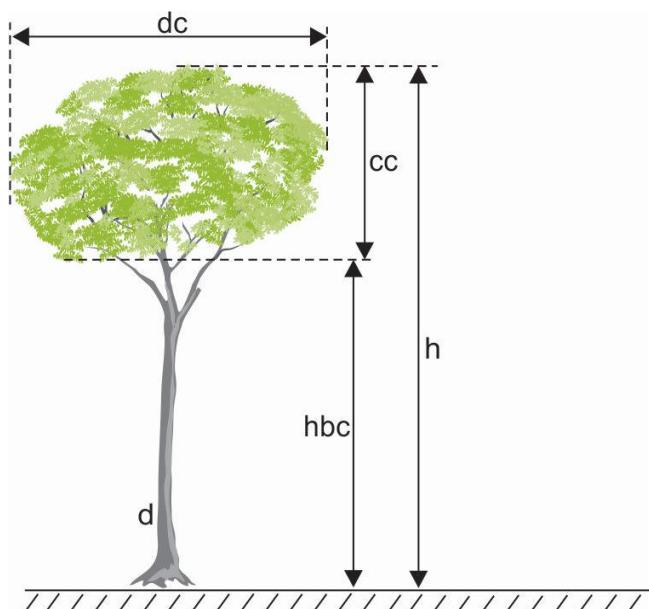


Figura 3 Modelo esquemático utilizado para medição de variáveis morfométricas.

Onde: d=diâmetro a altura do peito; h=altura total; hbc=altura na base da copa; cc=comprimento da copa; dc=diâmetro da copa.

Fonte: Cunha, T (2013)

3.5 VARIAVÉIS MORFOMÉTRICAS

As variáveis mensuradas para descrever a morfometria da árvore encontram-se explicitadas, na sequência baseadas nos pontos medidos demonstrados na figura :

➤ Comprimento da copa

O comprimento da copa foi obtido pela diferença entre a altura total e a altura de inserção do primeiro galho vivo:

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

Em que: h = altura total, em metros; hi = altura inserção primeiro galho vivo, em metros.

➤ Raio da copa médio

Os raios de copa foram medidos com o auxílio da bússola a partir da posição norte e nos demais pontos carteais (leste, oeste, norte e sul). Com as quatro medições, fez-se uma média, sendo definido o raio de copa médio desta árvore:

$$Rc = (rc1 + rc2 + rc3 + rc4)/4$$

Em que: rc = raios da copa, em metros.

➤ Diâmetro da copa

O diâmetro da copa, por sua vez, foi calculado pela duplicação do valor do raio médio da copa sobre o solo:

$$dc = 2.rc \quad (4)$$

Em que: rc = raio da copa médio, em metros.

➤ Área da projeção da copa

Para o cálculo da área de projeção de copa, foi utilizado a fórmula da área da circunferência:

$$Ac = \Pi * rc^2 :$$

Em que: o raio da copa médio, em metros foi o utilizado.

➤ Proporção de copa

A proporção da copa resultou do cálculo pela razão entre o comprimento da copa e a altura da árvore, que se fez em percentagem:

$$Pc = (cc/h) * 100$$

Em que: cc= comprimento da copa, em metros; h= altura total da árvore, em metros.

➤ Formal de copa

O formal da copa foi obtido pelo cálculo da razão entre o diâmetro da copa e o comprimento da copa:

$$Fc = dc/cc$$

Em que: dc= diâmetro da copa, em metros; cc= comprimento da copa, em metros.

➤ Grau de esbeltez ou relação h/d

O grau de esbeltez foi calculado pela razão entre a altura total da árvore e o diâmetro à altura do peito:

$$Ge = h/d$$

Em que: h= altura total da árvore, em metros; d= diâmetro a altura do peito, em metros.

➤ Índice de abrangência

O índice de abrangência, por seu turno, é calculado pela razão entre diâmetro de copa e a altura total da árvore:

$$IA = dc/h$$

Em que: dc= diâmetro da copa, em metros; h= altura total da árvore, em metros.

➤ Índice de saliência

O índice de saliência é a razão entre o diâmetro de copa e o diâmetro a altura do peito, conforme se evidencia:

$$IS = dc/d$$

Em que: dc= diâmetro da copa, em metros; d= diâmetro a altura do peito, em metros

➤ Estimativa da densidade ideal em função da área de projeção de copa

Para a estimativa da densidade ideal em função da área de projeção de copa, usaremos a fórmula abaixo:

$$N = 10.000 / APC$$

Onde:

N: é a densidade, expressa em número de indivíduos por hectare;

APC: é a área de projeção de copa em metros.

A densidade ideal será obtida através da avaliação de todas as medidas da copa de cada árvore, onde os parâmetros principais a serem medidos serão a altura total e a altura de inserção de copa, ou seja, a porção de copa viva. Todas as medidas foram mensuradas a campo com auxílio do hipsômetro digital. Esse índice expressa quantas vezes o diâmetro de copa é maior que o DAP. Estudos indicam que o acompanhamento do grau de correlação entre estas variáveis serve de indicativo do momento ideal do desbaste

3.6 ÍNDICE DE DENSIDADE DE REINEKE

O índice de densidade de Reineke, desenvolvido em 1933, é calculado através do número de árvores correspondentes ao diâmetro de área basal média. O número de árvores (N) em relação ao diâmetro médio (dg), geralmente, resulta numa expressão linear. Assim, estas duas variáveis são relacionadas através da seguinte função:

$$\log N = a \cdot \log dg + K$$

Para a elaboração destes gráficos mede-se, em povoados considerados de densidade completa, o número de árvores por hectare e o diâmetro médio de área basal (dg). Para a série de pontos assim obtidos determina-se, mediante análise de regressão, a reta através da regressão acima. Esta reta serve como curva mestre para construção do gráfico. As demais retas são construídas paralelamente à curva mestre fixando-se o diâmetro de referência, por exemplo, 10 cm. A curva mestre é denominada pelo número de árvores que ela indica para o diâmetro de referência.

A reta indicando IDR = 2000 é construída paralela à curva mestre de tal maneira que ela apresenta para o diâmetro de referência, 2000 árvores por hectares.

Segundo Chapman & Meyer (1949) o melhor método para se determinar a densidade de um povoamento equiâneo consiste no cálculo do índice de densidade de Reineke. Este índice é independente da idade e qualidade de sítio.

Quando um povoamento envelhece, a área basal e o diâmetro médio são incrementados e ambos estão amplamente equilibrados frente a uma outra equação de índice de densidade do povoamento.

4 ANÁLISE DOS DADOS

4.1 ANÁLISE DO INCREMENTO: INICIAL, FINAL E MÉDIO

Para poder analisar o crescimento do povoamento de forma abrangente, optou-se por calcular os incrementos iniciais dos primeiros 5 anos, o incrementos dos 5 anos finais e o incremento médio.

4.2 ANÁLISE DO EFEITO PÓS DESBASTES

Segundo informação do proprietário do plantio, foram realizados dois desbastes nos anos de 2002/2003 e 2007/2008, portanto apartir dessas datas analisou-se a retomada do crescimento pelos indivíduos, constatando se o mesmo foi feito de forma que garantisse o desempenho ideal para obtenção de maior volume de madeira por hectare.

Os dados foram analisados na ferramenta Solver do programa Action, integrado ao Excel 2010, em que foi realizado o processo de verificação da normalidade dos dados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e na sequência utilizados testes não paramétricos para identificar se existe diferença de crescimento dos 77 indivíduos selecionados aleatoriamente.

Para estudar as variáveis morfométricas que mais influenciam no crescimento, foi utilizada a análise de correlação de Pearson. Essa análise permitiu identificar as variáveis com influência em maior ou menor grau sobre o crescimento.

Os demais testes foram realizados pelo Sistema de Análise Estatística SAS V.9.3 (SAS, 2004), descrito a seguir.

4.3 CONDICIONANTES PARA ESCOLHA DO MODELO DE REGRESSÃO

Uma das pressuposições para aplicação dos testes F e de médias na análise de variância é que os dados possuam distribuição normal. Assim, foram aplicados os testes de Shapiro-Wilk, White, Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling, com os dados de diâmetros das árvores existentes na área útil das parcelas, aos 18 anos de idade, para selecionarmos as equações que melhor representariam o povoamento.

4.4 TESTE DE WHITE

O teste de White estabelece se a variação residual de uma variável em um modelo de regressão é constante (Homoscedasticidade).

4.5 TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV

O método de Kolmogorov-Smirnov é outro procedimento estatístico para testar a normalidade. Esse teste, baseia-se na razão entre a diferença máxima absoluta das frequências observadas e esperadas e o número de observações. Essa razão (D) é comparada com o valor da tabela de Kolmogorov-Smirnov em anexo.

O valor de “D” é obtido pela fórmula:

$$D = \underline{d \text{ MAX}}$$

N

Sendo: $d_{\text{max.}}$ = máxima diferença absoluta entre as frequências observadas e esperadas; N = número de observações.

4.6 TESTE DE ANDERSON-DARLING

O teste de Anderson-Darling é uma forma de estimativa da distância mínima, sendo uma das estatísticas as mais poderosas para detectar a maioria de formas de normalidade. Os tamanhos de amostra muito grandes podem rejeitar a suposição da normalidade com ligeiras imperfeições. Porém, com dados industriais de tamanhos de amostra de 200 e mais passaram no teste do Anderson-Darling.

O teste do Anderson-Darling avalia se uma amostra vem de uma distribuição específica. A fórmula para a estatística de teste A para avaliar se os dados $\{ Y_i \}_{i=1}^N$ vêm de uma distribuição com função de distribuição cumulativa (CDF), o F é obtido por:

$$A^2 = -N - S$$

Onde:

$$S = \sum_{i=1}^k (2i - 1/N) [\ln F(Y_i) + \ln(1 - F(Y_{n+1-i}))]$$

O resultado de A do teste estatística pode então ser comparada aos valores críticos da distribuição teórica (dependente de que F é usado) para determinar o valor de P.

Nas estatísticas, o teste de Shapiro-Wilk testa a hipótese de nulidade de que uma amostra x_1, \dots, x_n têm origem de uma população normalmente distribuída.

4.7 TESTE DE DURBIN-WATSON

O teste de Durbin-Watson, constitui-se em um procedimento para provar se os E_i , erro estocástico ou perturbação da regressão, estão correlacionados em série.

Esse teste de independência dos E_i é muito importante em análise de regressão. Quando os E_i são dependentes, apresentam uma correlação em série, neste caso, o método dos mínimos quadrados pode não dar as melhores estimativas. Também, não se pode utilizar as distribuições t e F para testar hipóteses ou determinar intervalos de confiança.

O procedimento para determinar se os E_i estão correlacionados em série, consiste em calcular o valor de “d” estatístico e comparar com os valores críticos tabelares, preparadas por Durbin e Watson (1950). O valor de “d” estatístico é obtido pela fórmula:

$$d = \frac{\sum (E_i - E_{i-1})^2}{\sum E_i^2}$$

Os E_i estão correlacionados positivamente em série quando o valor de “d” é quase nulo ou muito pequeno.

A prova de significância para um nível de probabilidade é feita em termos de hipóteses e com o auxílio da tabela de Durbin-Watson, em anexo, assim:

H_0 = não existe correlação em série nos resíduos;

H_1 = existe correlação em série nos resíduos.

4.8 MODELAGEM E SELEÇÃO DAS EQUAÇÕES DO INCREMENTO EM FUNÇÃO DA IDADE.

Utilizou-se dos MLG para ajuste dos modelos matemáticos para o incremento médio em função da idade. Os ajustes dos modelos foram realizados no Sistema de Análise Estatística SAS V.9.3 (SAS, 2004). Os MLG foram testados nas distribuições Normal, Poisson e Gama, utilizando-se as funções de ligação identidade e logarítmica.

Na seleção do melhor modelo de regressão levou-se em consideração o ajuste de cada equação comparativamente, observando-se os critérios estatísticos que são o Critério de Informação de Akaike

(AIC), Critério de Informação Bayesiano (BIC), desvio (deviance) e a análise dos resíduos.

4.9 MODELAGEM E SELEÇÃO DAS EQUAÇÕES CRESCIMENTO DO DIÂMETRO EM FUNÇÃO DA IDADE.

Utilizou-se dos MLG para ajuste dos modelos matemáticos para o crescimento do diâmetro em função da idade. Os ajustes dos modelos foram realizados no Sistema de Análise Estatística SAS V.9.3 (SAS, 2004). Os MLG foram testados nas distribuições Normal, Poisson e Gama, utilizando-se as funções de ligação identidade e logarítmica.

Na seleção do melhor modelo de regressão levou-se em consideração o ajuste de cada equação comparativamente, observando-se os critérios estatísticos que são o Critério de Informação de Akaike (AIC), Critério de Informação Bayesiano (BIC), desvio (deviance) e a análise dos resíduos.

4.10 DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS

A análise gráfica da distribuição dos resíduos entre a variável dependente estimada foi de grande importância na seleção do modelo, visto que possibilita a verificação do ajuste da equação ao longo de toda a amplitude dos dados observados. Dessa forma, selecionou-se o modelo que apresentou menor variação de resíduos, com menor tendência de superestimar ou subestimar os valores.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

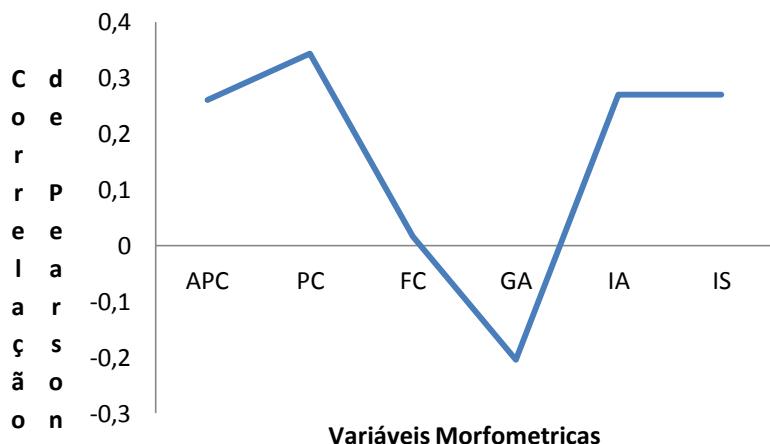
5.1 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON

Para avaliar as variáveis morfométricas, obtou-se dividir em duas etapas. A primeira utilizando a correlação de Pearson para avaliar cada parâmetro separadamente, sendo calculada pela ferramenta Solver do Programa Excel, tendo como variável independente sempre o incremento, a fim de obter as correlações de forma simples e direta.

Os resultados obtidos foram: para área de projeção de copa 0,2605, para proporção de copa 0,3438, para formal de copa 0,0162, para o grau de esbeltez -0,2037, para o índice de abrangência 0,2703 e índice de saliência de 0,2703, ou seja, todos os valores tiveram baixa correlação com a variável incremento, destacando-se o valor de 0,3438 para a projeção de copa (Figura 4).

Na segunda etapa foram calculados os todos os parâmetros unidos para verificar a inter-relação entre os mesmos, apresentados nas figuras abaixo.

Figura 4 - Valores encontrados para a correlação de Pearson



Onde: APC=área de projeção de copa; PC= proporção de copa; FC=formal de copa; EE= grau de esbeltez; IA= índice de abrangência; SS=índice de saliência
Fonte: Produzido pelo autor.

Como pode ser observado na figura acima, a maior correlação encontrada 0,3438, baseada em Pearson, foi a área de projeção de copa com a variável independente sendo o incremento. Os dados calculados apresentaram correlação baixa entre eles, sendo que os valores ficaram próximo ao eixo horizontal, o maior valor encontrado foi para projeção de copa com 0,3438, seguido dos indices de ambrangência e projeção de

copa, tendo um único parâmetro negativo, o grau de esbeltez, demonstrando que o valor do mesmo é inversamente proporcional ao incremento. Os parâmetros morfométricos analisados com o auxílio do Sistema de Análise Estatística SAS V.9.3 (SAS Institute Inc., 2004) através da função SCATTER PLOT, para determinar a forma da dispersão, analisando se a distribuição é normal e uniforme pela densidade da variação e a normalidade pela linha diagonal. Portanto, pelo agrupamento dos dados, os resultados não mostram clara correlação.

Tabela 1- Correlação de Pearson entre as variáveis morfométricas

	Correlação de Pearson									
IMD	CC	RC	DC	APC	PC	FC	EE	IA	SS	
IMD	1	0.23	0.27	0.27	0.26	0.34	0.02	-0.20	0.31	0.27
CC	0.23	1	0.27	0.27	0.25	0.89	-0.66	0.41	0.03	0.27
RC	0.27	0.27	1	0.99	0.99	0.36	0.50	-0.14	0.88	0.99
DC	0.27	0.27	0.99	1	0.99	0.36	0.50	-0.14	0.88	0.99
APC	0.26	0.25	0.99	0.99	1	0.34	0.51	-0.13	0.88	0.99
PC	0.34	0.89	0.36	0.36	0.34	1	-0.51	-0.06	0.33	0.36
FC	0.02	-0.66	0.50	0.50	0.51	-0.51	1	-0.45	0.62	0.50
EE	-0.20	0.41	-0.14	-0.14	-0.13	-0.06	-0.45	1	-0.59	-0.14
IA	0.31	0.03	0.88	0.88	0.87	0.33	0.61	-0.59	1	0.88
SS	0.27	0.27	0.99	0.99	0.99	0.36	0.50	-0.14	0.88	1

Onde: IMD= incremento médio; CC=comprimento de copa; RC=raio de copa; DC=diâmetro de copa; APC=área de projeção de copa; PC= proporção de copa; FC=formal de copa; EE= grau de esbeltez; IA= índice de abrangência; SS=índice de saliência

Fonte: Produzido pelo autor.

Os autores Hoppe e Freddo (2003) demonstraram como a intensidade da desrama afeta o crescimento do plantio de *Pinus elliottii* no RS. Os autores indicaram que o diâmetro e a produção de madeira foram fortemente influenciados pela intensidade de desrama aos 13 anos de idade, recomendando utilizar desrama com intensidade inferior a 40 % da altura total das árvores.

Segundo resultado deste estudo, a proporção de desrama foi de aproximadamente 60%, podendo influenciar na menor taxa de

fotossíntese e na redução significativa da área de proporção de copa e na consequentemente diminuição das taxas de incremento.

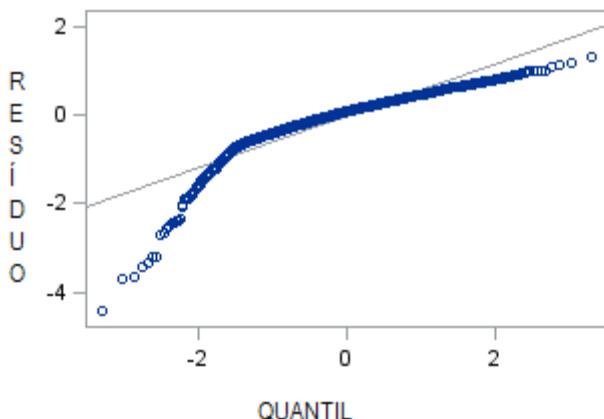
Para Pereira e Ahrens (2003), a desrama é uma prática silvicultural que tem por objetivo o aprimoramento da qualidade da madeira, especialmente pela redução de nós e pelo confinamento dos nós no centro do fuste. Esses pesquisadores afirmam que quando a desrama for severa, poderá interferir negativamente no crescimento das árvores, sendo pequeno no crescimento em altura e mais pronunciado sobre o crescimento diamétrico do fuste.

5.2 ESCOLHA DO MODELO DAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO

Segundo Schneider (2009), a análise gráfica da distribuição dos resíduos entre a variável dependente observada e estimada, constitui-se de grande importância na seleção de modelos, por possibilitar a verificação do ajuste da equação ao longo de toda a amplitude dos dados observados.

Essa análise permite detectar possíveis tendências de ajuste ao longo da linha de regressão para a tomada de decisão quanto a utilização ou não do modelo. Para a escolha do modelo das equações de regressão, primeiramente foi analisado a normalidade dos dados visando obter a melhor função matemática que descreva a relação entre a variável dependente e as variáveis independentes.

Figura 5- Distribuição dos dados de incremento para o teste de normalidade.



Fonte: Produzido pelo autor.

Como pode ser observado na figura acima, os dados não seguem a linha normal, apresentando valores abaixo da linha, mostrando que a distribuição dos valores não seguem as condições de normalidade. A qualidade de ajustamento é medida pelo grau de concordância entre uma distribuição observada e uma teórica esperada, a um nível de probabilidade,

A análise das condicionantes para a equação ajustada tornou-se de extrema importância, porque os testes que consideram a hipótese básica de distribuição normal, homogeneidade e independência dos resíduos.

Tabela 2 Teste de White para Heteroscedasticidade

Variável	Teste Estatístico	DF	Pr>ChiSq
Incremento	White	208.5	<.0001

Onde: DF= valor calculado;

Fonte: Produzido pelo autor

O teste de White acusou um valor igual a 208,5 significativo a probabilidade de 0,0001, portanto, os dados apresentam heterogeneidade de variância e não foi possível utilizar a regressão simples para estimar os resultados.

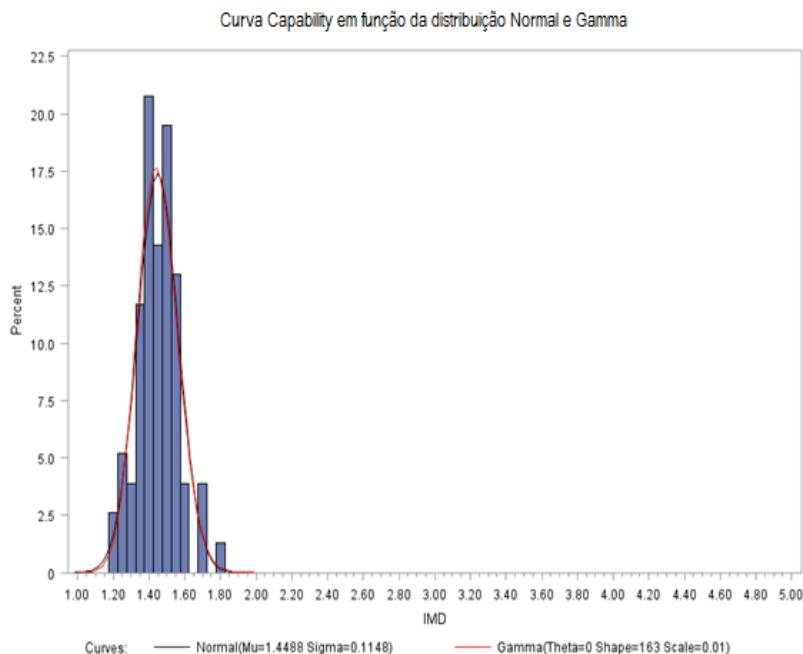
Tabela 3- Testes de Normalidade de Shapiro-Wilk

Variável	Teste Estatístico	Calculado	Probabilidade
Incremento	Shapiro-Wilk W	0.85	<.0001

Fonte: Produzido pelo autor

O teste de Shapiro-Wilk W acusou um valor igual a 0,85, significativo a probabilidade de 0,0001, portanto os dados de resíduos dos dados atendem a condição de normalidade, porém como o teste de White foi heterocedástico e a distribuição dos resíduos não seguiu normalidade, optou-se por utilizar os modelos lineares generalizados.

Figura 6- Histograma da curva capability em função da distribuição Normal e Gamma



Fonte: Produzido pelo autor.

Após a realização de todos os testes e análise dos dados obtidos, optou-se pela distribuição Gamma, havendo melhor ajuste dos dados como pode ser observado na Figura .

5.3 MODELAGEM E SELEÇÃO DAS EQUAÇÕES DE INCREMENTO EM FUNÇÃO DA IDADE.

Utilizou-se dos MLG para ajuste dos modelos matemáticos para o incremento em função da idade. Os ajustes dos modelos foram realizados no Sistema de Análise Estatística SAS V.9.3 (SAS, 2004). Os MLG foram testados nos três campos aleatórios, Normal, Poisson e Gama, utilizando-se as funções de ligação identidade e logarítmica.

Na seleção do melhor modelo de regressão levou-se em consideração o ajuste de cada equação comparativamente, observando-se os critérios estatísticos que são a função desvio, o critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC) e análise dos resíduos (Tabela).

Tabela 4- MLG testados para o incremento.

Procedimento	Desvio	Akaike	Bayesiano
Normal-Log	261,7322	1601,0439	1616,4557
Normal-Identity	430,6144	2227,391	2242,8029
Gamma-Log	103,412	891,042	906,4538
Gamma-Identity	149,3308	1360,8073	1360,2192
Poisson-Log	129,1148	2873,0863	2883,3609
Poisson-Indetity	214,6652	2958,6367	2883,3609

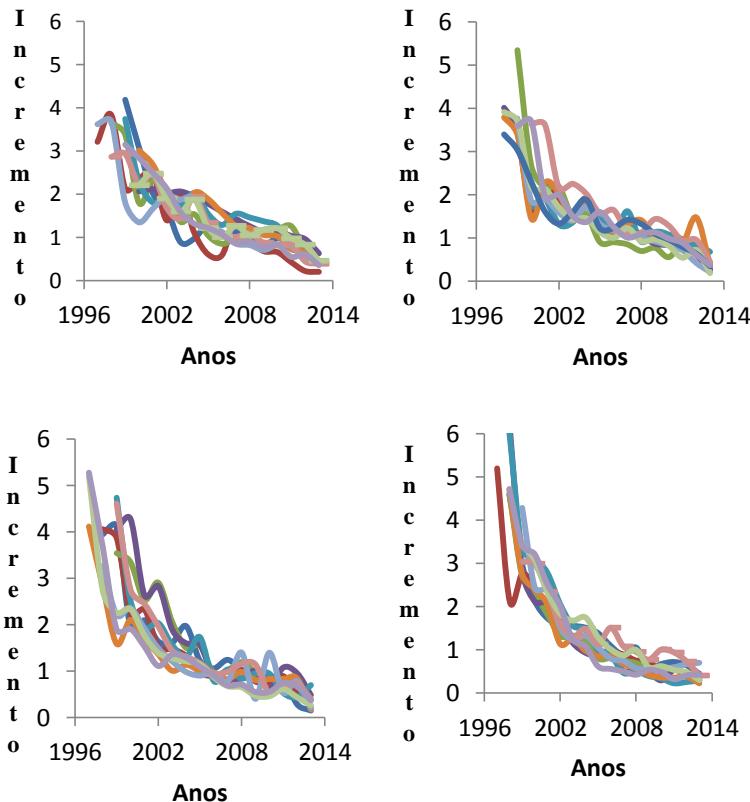
Fonte: Produzido pelo autor

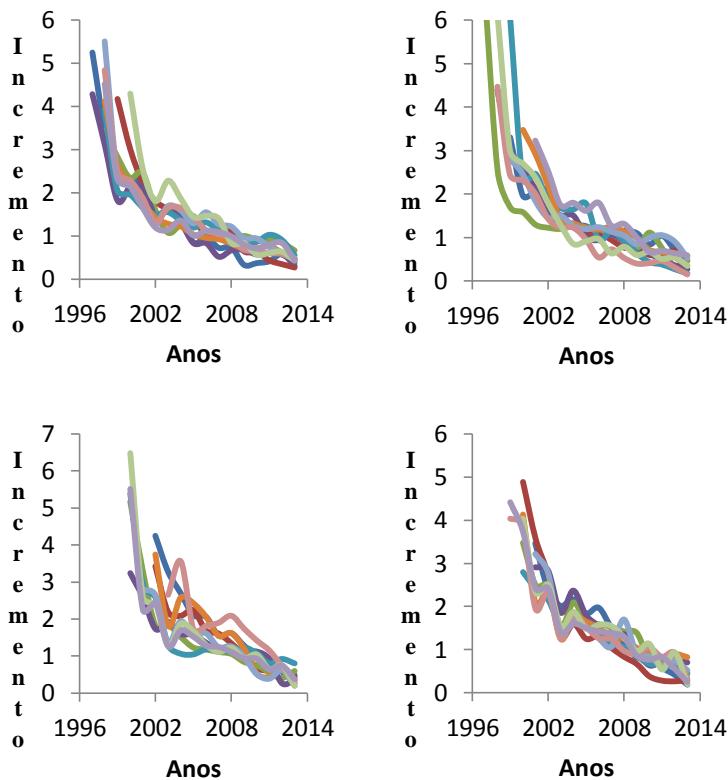
O modelo com melhor ajuste foi a distribuição Gamma(Log), apresentando com o critério de validação de desvio com valor de 103,4120, com critério de informação Akaike com valor 891,0420, com critério de informação Baynesiano com valor de 906,4538. Os parâmetros para equação de regressão são $b_0 = 1,2867$ e $b_1 = -0,1330$.

A tabela mostra que o modelo apresentou significância nos parâmetros (valor-p<0,0001). Portanto, considerando apenas esse

critério, é possível afirmar que o modelo apresentado pode ser utilizado para a estimativa do Incremento em função da idade.

Figura 7- Variações do incremento em função da idade.





Fonte: Elaborado pelo autor

Na figura acima pode ser visualizado as variações que ocorreram no incremento no decorrer dos anos com todos os indivíduos, era esperado que as curvas tivessem padrões semelhantes, pois se trata de um plantio equiâneo, porem as intervenções ocorrem de forma distinta, ocasionando as diferenças visualizadas. No ano de 2003/2004 e 2007/2008 esperava-se uma retomada do crescimento devido aos desbastes ocorridos, porem os mesmos não tiveram o efeito esperado, podendo indicar que a intensidade não tenha sido a ideal, fato que favorece a competição entre os indivíduos. Outro fator que pode ter influenciado foi o atraso nas intervenções realizadas, onde a taxa de incremento diminuiu ao ponto de não retomar o mesmo padrão.

5.4 MODELAGEM E SELEÇÃO DAS EQUAÇÕES CRESCIMENTO DO DIÂMETRO EM FUNÇÃO DA IDADE.

Utilizou-se dos MLG para ajuste dos modelos matemáticos para DAP em função da idade, idade em função do DAP e incremento em função da idade. Os ajustes dos modelos foram realizados no Sistema de Análise Estatística SAS V.9.3 (SAS Institute Inc., 2004). Os MLG foram testados nos três campos aleatórios, Normal, Poisson e Gama, utilizando-se as funções de ligação identidade e logarítmica.

Na seleção do melhor modelo de regressão levou-se em consideração o ajuste de cada equação comparativamente, observando-se os critérios estatísticos que são a função desvio, o critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC) e análise dos resíduos.

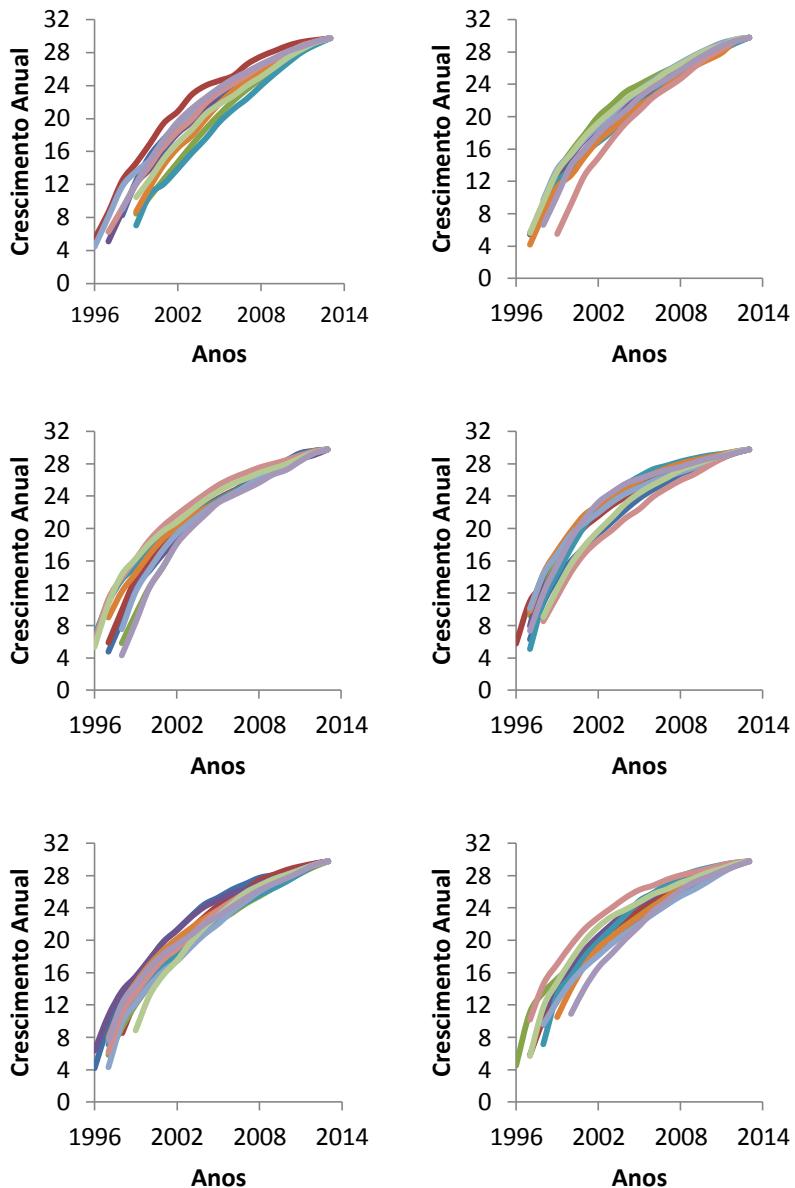
Tabela 5 - MLG testados para a variável diâmetro

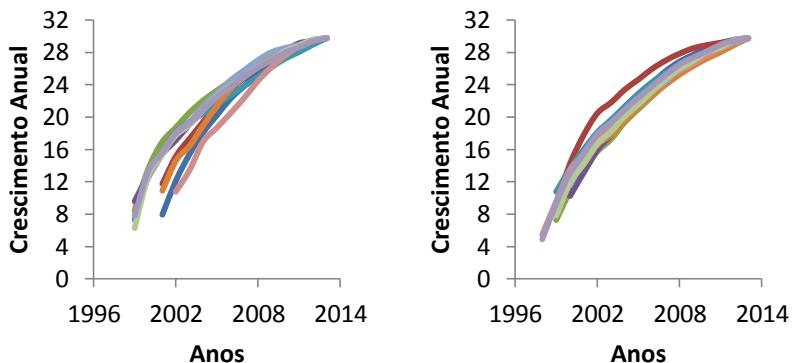
Procedimento	Deviance	Akaike	Baynesiano
Normal-Log	6835,9748	5705,4357	5720,8475
Normal-Identity	4733,2477	5243,0106	5258,4228
Gamma-Log	18,8808	6116,5083	6131,9201
Gamma-Identity	12,9746	5643,5842	5658,9961
Poisson-Log	350,062	6585,8133	6596,0879
Poisson-Indetity	240,222	6475,9733	6486,2478

Fonte: Produzido pelo autor.

O modelo com melhor ajuste foi a distribuição Gamma(Identity), apresentando com o critério de validação de desvio com valor de 12,9746 com critério de informação Akaike com valor 5.643,5842, com critério de informação Bayesiano com valor de 5658,9961. O modelo também apresentou todos os parâmetros com nível de significância nominal (valores p), todos inferiores a 0,0001, indicando o efeito da idade no crescimento em diâmetro. O modelo *Gamma - identidade* apresentou uma boa homogeneização dos resíduos.

Figura 8- Crescimento em diâmetro para os 77 indivíduos estudados.





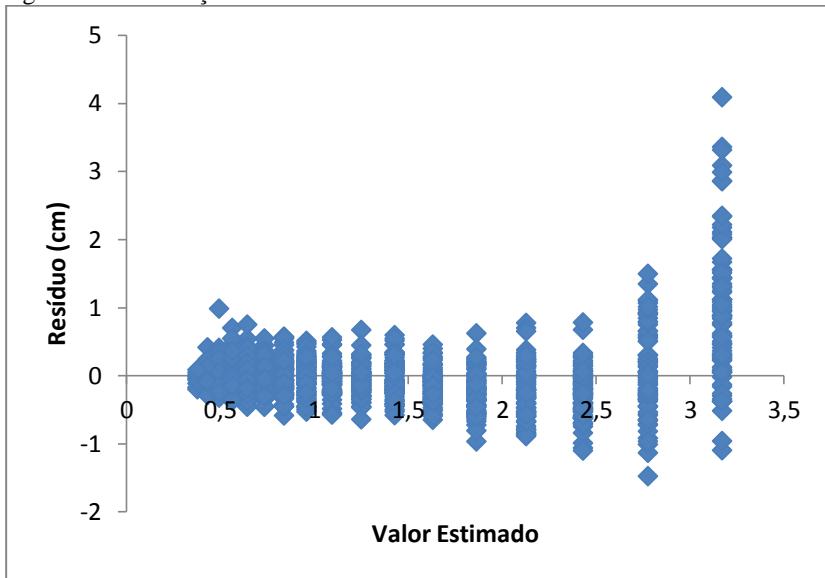
Fonte: Elaborado pelo autor

Na figura acima, visualiza-se os padrões de crescimento para o diâmetro, a curva de crescimento ascendente, demonstra que por ser um parâmetro acumulativo ao longo dos anos, espera-se que a curva perca amplitude seguindo até se estabilizar até que ocorra o seu corte raso, os desbastes são importantes para favorecer a curva ascendente. Foi possível notar que os desbastes não tiveram grandes variações no diâmetro e que a curva está estabilizando, existindo a necessidade de fazer outro desbaste ou efetuar o corte raso deste povoamento.

5.5 INCREMENTO EM FUNÇÃO DA IDADE.

De acordo com as informações repassadas pelo responsável pelo povoamento, o plantio do mesmo foi no ano de 1996, portanto o mesmo está com aproximadamente 18 anos, todavia como a retirada do rolo de incremento foi a 1,30m do solo, alguns anéis de crescimento não foi possível medir, obtendo em média 13 a 16 anéis. O incremento médio anual em diâmetro das árvores estudadas foi igual a 1,4779 cm/ano, variando de 0,148 cm/ano a um incremento máximo de 7,261 cm/ano.

Figura 9 - Distribuição dos Resíduos do Incremento.



Fonte: Produzido pelo autor.

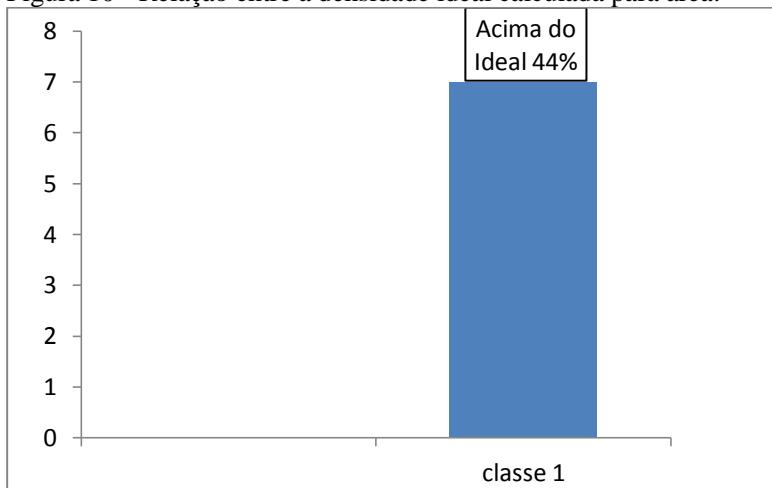
A figura de resíduos apresenta distribuição próxima ao eixo horizontal mostrando maior acuracidade dos dados no início, havendo bastante confiabilidade e no final os valores tendem a serem superestimados.

5.6 ESTIMATIVA DA DENSIDADE IDEAL EM FUNÇÃO DA ÁREA DE PROJEÇÃO DE COPA.

Foi calculado através da área de projeção de copa, o numero potencial de indivíduos por hectare que deveriam permanecer no povoamento, para que o mesmo tivesse a resposta em todos os remanescentes. Contudo foi possível observar que o valor Ideal por hectare seria em torno de 450 indivíduos, no entanto os valores encontrados variaram de 256 a 930 indivíduos, demonstrando que em alguns locais o desbaste foi rigoroso demais e em outros foi ameno,

resultando numa possível queda do crescimento. Através do inventário Florestal realizado, foi possível constatar uma densidade de 825 remanescentes por hectare, ou seja, 45% acima do ideal,

Figura 10 - Relação entre a densidade ideal calculada para área.



Fonte: Produzido pelo autor.

Na figura acima os 77 indivíduos analisados foram separados em duas classes para facilitar, onde os que tiveram valor abaixo da média calculada para o povoamento de 450 ind/ha, foram considerados com densidade correta, sendo 56% do total e os indivíduos com densidade acima do calculado foram considerados fora limite do ideal, sendo 44%. Com esse resultado conclui-se que as técnicas de manejo aplicadas para um mesmo povoamento diferenciam-se, podendo ser uma das causas da estagnação do crescimento em alguns locais, através da competição entre os remanescentes mais próximos. O valor calculado como ideal é apenas um numero de referência para o planejamento das atividades a campo, todavia deve-se buscar que a amplitude dos valores seja pequena, para minimizar as diferenças entre os remanescentes.

5.7 ÍNDICE DE DENSIDADE DE REINECKE

A partir da equação calculada, e tomando-se como padrão o diâmetro médio dos dg (dgm) igual a 29,76 cm, foi traçada a curva de referência do povoamento, conforme Figura abaixo.

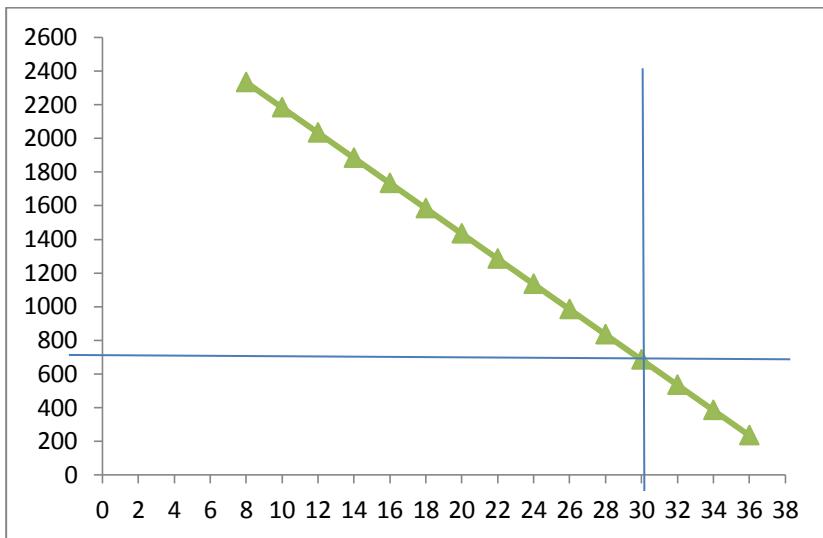


Figura 11- Índice de Densidade de Reineke para o povoamento.

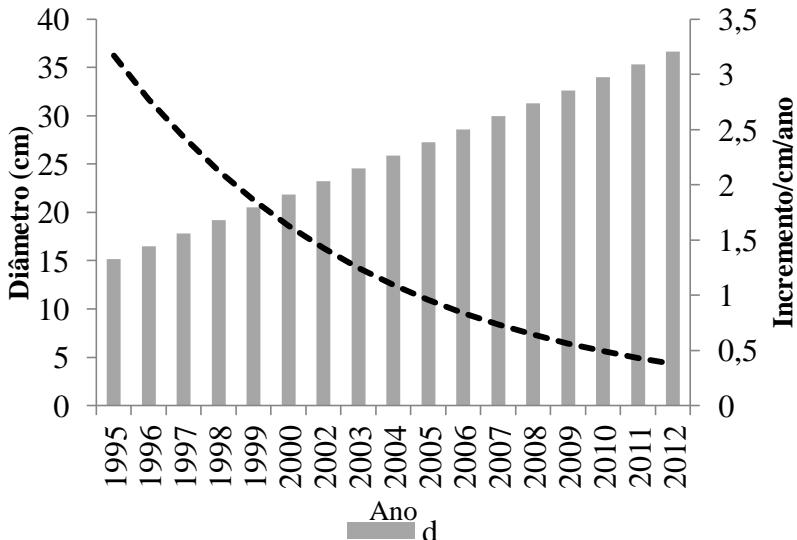
A curva de referência foi traçada substituindo-se os diâmetros médios (dgm) na equação obtida. Como o povoamento apresenta-se com densidade completa, esta curva representa os valores máximos do povoamento. Conforme pode ser visualizado pelas linhas em azul na figura acima, levando-se em consideração o diâmetro de 29,76 cm para as árvores Dg do povoamento, a densidade ideal seria entorno de 700 indivíduos por hectare, evidenciando novamente que o número de indivíduos está acima do calculado e que pode ocasionar a diminuição do incremento no povoamento. A curva mestra ou de referência é denominada pelo número de árvores/ha que ela indica para o diâmetro de referência.

5.8 ANÁLISE DO CRESCIMENTO: INICIAL, FINAL E MÉDIO.

Para analisar o crescimento dos indivíduos foi levado em consideração dois parâmetros: incremento e diâmetro, onde o primeiro decresce ao longo dos anos demonstrando a queda no crescimento ao longo dos anos e o segundo aumenta, pois é um valor cumulativo, como pode ser observado no

Como já era esperado o incremento inicial, contado nos primeiros cinco anos foi maior que cinco finais e também que a média, sendo justificado em plantios equiâneos pela tendência do crescimento rápido até que o indivíduo entre em competição com os mais próximos, fato que é minimizado com a intervenção através dos desbastes.

Figura 12 Incremento médio anual e o diâmetro médio, com o passar dos anos.



Fonte: Produzido pelo autor

Nota-se que na maioria dos casos o incremento caiu cerca de 50% até o sexto e o sétimo ano de plantio, demonstrando a necessidade de intervenção para retomada do crescimento naquele momento, porém o primeiro desbaste foi realizado no oitavo para nono ano, fato que pode ter causado um enfraquecimento na retomada de crescimento ou necessidade de uma intervenção mais intensa, para diminuir a

competição existente. No segundo desbaste o incremento diminui 43% até a intervenção ocorrer, fato que novamente enfraqueceu a retomada do crescimento.

5,9 ANÁLISE DO EFEITO PÓS DESBASTES

Para poder analisar os efeitos após os desbastes realizados, foi feito a análise dos anéis de crescimento através da medição dos anéis, onde foram geradas as figures e tabelas, sendo analisados separadamente o primeiro desbaste entre os anos 2003/2004 e o segundo desbaste nos anos 2007/2008

Tabela 6- Crescimento após as intervenções realizadas.

Início	Final	Médio	1ºdesb	%	Após 2ºdesb	%
2,5475	0,6805	1,4845	0,2846	15,516	0,1607	13,1085

Fonte: Produzido pelo autor.

Para determinar o crescimento inicial e final foram selecionados os valores dos primeiros e últimos cinco anos e o valor médio do incremento de cada individuo, foram levados em consideração todos os valores encontrados nos dois lados da bagueta, fazendo a média ponderada. O crescimento inicial para os 77 indivíduos foi de aproximadamente 2,55 cm/ano, ficando em torno de quatro vezes maior que o final, demonstrando mais uma vez a ineficiência dos desbastes. Se for analisado cada um dos 77 remanescentes, constata-se que no primeiro desbaste 21 tiveram seu incremento reduzido, ou seja, 27% do total não teve resposta à primeira intervenção e 20 do segundo desbaste também não retomaram o crescimento, sendo 26% dos restantes tiveram diminuição do seu incremento.

Os valores encontrados para a área basal foram 56,42 m²/ha, bem próximo ao encontrados por Pezzutti (2011) que estudou efeitos dos tratamento silviculturais em plantios de *Pinus taeda* de 15 anos de idade com 54,3 m²/ha, na região nordeste da Argentina. Resultados obtidos por Leite et al. (2006), para um plantio de *Pinus taeda* com um espaçamento inicial de 2 m x 3 m, estabelecido no planalto de Santa Catarina, mostraram que os valores de área basal alcançaram valores de 60 m²/ha, aos 14 anos de idade, sendo este valor levemente superior ao

encontrado no presente estudo. Já Crechi et al (2004) atingiram, para *Pinus taeda* em Misiones, Argentina, com alta densidade de plantação, um valor de área basal de 52 m²/ha aos 17 anos de idade. Mostrando que os valores do presente estudo para área basal, encontram-se próximos aos valores mencionados para a espécie.

6 CONCLUSÃO

Com o presente estudo do povoamento de *Pinus taeda L.* foi possível avaliar os padrões de crescimento, através das variáveis medidas de incremento e diâmetro. Os indivíduos passaram por duas intervenções para manter as taxas de incremento, obtendo resultados através da dendrocronologia, demonstrando os seus padrões ao longo dos anos, além de todos os fatores que influenciam o crescimento para cada região, devendo haver a preocupação em trabalhar diferentes formas de exploração e não aceitar o empirismo como forma de manejo florestal.

O conjunto de informações propiciou o conhecimento sobre as formas de manejos que o povoamento foi submetido até o momento. Conclui-se que as intervenções realizadas acabaram surtindo pouco efeito nos indivíduos, pois foram feitas após o período inicial necessário para não comprometer a retomada do crescimento, a sugestão é que o mesmo deveria ter sido realizado anterior ao sexto ano no primeiro desbaste e anterior ao nono no segundo.

Outro fator que pode ter contribuído para a perda do ritmo de crescimento foi a intensidade dos desbastes, pois os mesmos tiverem baixo crescimento após as intervenções, comprovando que não foi significativo, além de não abranger a todos da mesma forma, propiciando a competição.

Os dados morfométricos tiveram baixa correlação com o crescimento dos indivíduos, demonstrando que a talvez a desrama tenha sido feita de forma severa, afim de se diminuir os nós da madeira, o que aumenta o valor da mesma e que atrapalhou o aprofundamento neste quesito.

Os modelos lineares generalizados se mostraram eficiente para o ajuste dos dados e pode ser empregada com acurácia para as equações testadas, pois apresentou significância estatística

Foi possível constatar que os principais fatores que influenciam no crescimento de espécies comerciais estão diretamente ligados ao material genético utilizado, as condições climáticas, sítios e tratos culturais entre outras variáveis e que a região que o plantio está, deve ser melhor planejada para otimizar o crescimento.

7 REFERÊNCIAS

ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF: Ano base 2012.** ABRAF: Brasília, 2013. 87 p.

ABREU, E. **Modelagem da prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis*.** 2000. 69p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

ALVES, A. A. M. **Técnicas de produção florestal: fundamentos, tipificação e métodos.** Lisboa: Instituto Nacional de Investigação Científica, 1982. 331 p.

ASSMANN, E. **The Principles of Forest Yield Study.** Muchen: BLV, 1970. 490 p.

BOTOSO, P. C. & MATTOS, P. P. de. **Conhecer a Idade das Árvores: Importância e Aplicação.** Documentos 75. Embrapa. ISSN 1517-536X. 2002.

BURGER. D. **Ordenamento Florestal I.** 2. ed. Curitiba: UFPR. 1980. v. não paginado.

COELHO, J. V. **Dendrocronologia: Método matemático para determinação da idade das árvores.** 2011. 100p. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

DANIEL, O.; YARED, J. A. G. **Procedimentos para análise de tronco de espécies florestais.** Belem: FCAP, Servico de Documentação e Informação, 1987. 36 p.

DURLO, M. A.; DENARDI, E. **Morfometria de Cabralea canjerana em matassecundaria nativa do Rio Grande do Sul.** Ciência Florestal, 8 (1): 44-55, 1998.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis.** New York: Wiley, 1966.407 p.

DRAPER, N. R.; GUTTMAN, I. **Incorporating overlap effects from neighbouring units into surface models.** Applied statistics. Journal of the Royal Statistics Society (C), v. 29, p. 128-134, 1980.

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F. da; PINTO, J. R. R. **Idade e crescimento das arvores.** Comunicações técnicas florestais, Brasília, UFB, Departamento de Engenharia Florestal, v.7, n.1, 2005. ISSN 1517-1922. 43p.

EMBRAPA. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** Porto Alegre, 2004. 404p.

EPAGRI. **Dados e informações biofísicas da Unidade de Planejamento Regional Planalto Sul Catarinense – UPR3,** Florianópolis, 2002. 70 p.

FINGER, C. A. G. **Biometria florestal.** Santa Maria: CEPEF/FATEC/UFSM, 2006. 284 p.

GONÇALVES, G. V. **Dendrocronologia: princípios teóricos, problemas práticos e aplicabilidade.** Conferência. CIDEHUS – Universidade de Évora, Évora, Portugal, 2007.

HALLE, F. **Ecology and reiteration in tropical trees.** In: Kurmann and A.R. Hemsley (Ed.). *The Evolution of Plant Architecture*. Londres: Royal Botanic Gardens, Kew, 1999. p. 93-107.

HOLMES R. L. **Quality control of crossdating and measuring. Users manual for computer program COFECHA.** In: Holmes, R. L.; Adams, R. K; Fritts, H. C. (Eds.). 1986.

HOPPE, M. H.; FREDDO, A. R. **Efeito da intensidade de desrama na produção de *Pinus elliottii* Engelm., no Município de Piratini, RS.** Ciência Florestal. Santa Maria, v 13, n.2, p. 47-56. 2003.

HUHN, M. Populationsgenetische Untersuchungen zur Phanotypischen selektion in Pflanzenbeständen mit Konkurrenz. **Silvae genetica**, v. 22, p. 2-145, 1973.

IMAÑA-ENCINAS, J.; SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R. **Idade e crescimento das árvores.** Brasília, DF: Universidade de Brasília, 2005. V. 7, 40 p. (UNB. Comunicações Técnicas Florestais, v. 7, n. 1).

KANTOLA, A.; MAKELA, A. **Development of biomass proportions in Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.).** Trees, v. 20, p. 111-121, 2006.

KARIUKI, M. **Height estimation in complete stem analysis using annual radial growth measurements.** Forestry, v. 75, n. 1, p. 63-74, 2002.

KARKACH, A. S. **Trajectories and models of individual growth.** Demographic Research, v.15 (12), p. 347-400, nov. 2006

KING, D. A.; LEIGH, E. G. Jr.; CONDIT, R.; FOSTER, R. B., HUBBEL, S. P. **Relationships between branch spacing, growth rate and light in tropical Forest saplings.** Functional Ecology, v. 11, p. 627-635, 1997.

KOEHLER, A. B. **Modelagem biométrica e morfometria em povoamentos jovens de Araucaria angustifolia (bert.) Ktze., em Tijucas do Sul, estado do Paraná.** 2009. 142p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas.** Universidade Gottingen. Eschborn. Alemanha, 1990. 343 p.

LARSON, P. R. **Stem form development of forest trees.** Forest Science Monograph, v. 5, 1963. 42 p.

LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. **Importância das variáveis altura dominante e altura total em equações hipsométricas e volumétricas.** R. Árvore, Vícose-MG, v. 27, p. 301-310, 2003.

MAGNUSSEN, S. **A method to adjust simultaneously for spatial microsite and competition effects.** Canadian Journal of Forest research, v. 24, p. 985-995, 1994.

NETTO, C. **Dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de *Pinus taeda L.* Em diferentes idades e espaçamentos.** 2008. 106p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, RS.

NUTTO, L. Manejo do crescimento diametrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Baseado na árvore individual. Ciência Florestal. Santa Maria, 11 (2): 9-25, 2001.

OLIVER, C. D., LARSON, B. C. **Forest stand dynamics.** New York: Jhon Wiley & Sons, 571p. 1996.

OLIVEIRA, J. M; SANTAROSA, E.; ROIG, F.A.; DEPATTI PILAR, V. Amostragem Temporal de Aneis de Crescimento:Uma Alternativa para Determinar Ritmo de Atividade Cambial. Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre, v. 5, supl 1, p. 615-617, jul. 2007.

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

OSADA, N.; TAKEDA, H. **Branch architecture, light interception and crown development in saplings of plagiotropically branching tropical tree, *Polyalthia jenkinsii* (Annonaceae).** Annals of Botany, v. 91, p. 55-63, 2003.

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

PELLICO NETO, S; BRENA, D.A. **Inventario florestal.** Cutiriba:Elaborado pelos autores, 1997, 316p.

PELLICO-NETTO, S. **Densidade de uma floresta em função da variável altura.** Acta Forestalia Brasiliensis, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 01-08, jun. 1986.

PEREIRA, J.C.D.; AHRENS, S. **Efeito da desrama sobre a espessura e densidade da madeira dos anéis de crescimento de *Pinus taeda* L.** Boletim de Pesquisas Florestais, Piracicaba, n. 46, p. 47-56, jan./jun. 2003.

PIUTTI, E.; CESCATTI, A. **A quantitative analysis of the introductions between climatic response and intraspecific competition in European beach.** Canadian Journal of Forest Research, v. 27, p. 277-284. 1997.

PLOURDE, A.; KRAUSE, C. **Development and growth of the aerial part of *Pinus banksiana* Lamb. from natural and planted stands.** In: 4th International Workshop on Functional-Structural Plant Models, 2004, Montpellier. Anais □Montpellier: C Godin et al., 2004. P. 17-21.

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

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

ROIG, F. A. & R. VILLALBA, 2008. **Understanding climate from Patagonian tree rings.** Pages 411-435 in J. Rabassa (ed.). Late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego. Developments in Quaternary Sciences, 11. Elsevier, Amsterdam.

SANQUETTA, C. R. **Fundamentos biométricos dos modelos de simulação florestal.** Curitiba: UFPR, 1996. 49p.

SANQUETTA, C. R. et. al. **Produção de madeira para lamination em povoamentos de *Pinus taeda* submetidos a diferentes densidades e regimes de desbaste: uma abordagem experimental.** Revista Floresta. v. 28, n. ., p. 83-99. 1998.

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.

SBS. 2009 - **O papel das florestas plantadas para atendimento das demandas futuras da sociedade.** Disponível em www.sbs.org.br

SCHNEIDER, P. R. **Manejo Florestal:** Planejamento da Producao Florestal. Santa Maria: UFSM, 2004. 492 p.

SCOLFORO, J.R. **Biometria florestal: Parte I: modelos de regressão linear e não-linear; Parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento, e peso de matéria seca.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 352 p.

SCOLFORO, J. R. S.; MAESTRI, R.; MACHADO, S. A. **Um modelo de crescimento e producao como suporte para manejo florestal.** In: CURSO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTAVEL, 1997, Colombo. Anais... Colombo: EMBRAPA 1997. p. 1 – 31.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas.** Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 453p.

SCOLFORO, J. R. S. **Sistema integrado para predição e análise presente e futura do crescimento e produção com otimização de remuneração de capitais para *Pinus caribaea var. hondurensis*.** 1990. 290p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SCOLFORO, J. R. S.; PULZ, F. A.; MELLO, J. M. **Modelagem da produção, idade das florestas nativas, distribuição espacial das espécies e a análise estrutural.** In.: Manejo Florestal, 1998, p. 189-256.

SHIMIZU, J. Y. **Cultivo do Pinus. Embrapa Florestas – Sistema de Produção,** 5. Versão eletrônica. Novembro, 2005. Disponível em:<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/03_2_pinus_taeda.htm>.

STERBA, H. **Waldwachstumskunde: Skriptum zur Lehrveranstaltung** 420.020. Wien: Universitat fur Bodenkultur, Institut fur Waldwachstumsforschung, 2006, 129 p.

SZYMURA, T. H. **Silver fir sapling bank in seminatural stand: Individuals architecture and vitality.** Forest Ecology and Management, v. 212, p. 101-108, 2005.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F. **Morfologia de copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia.** Pesq. Agropec. Bras., Brasilia, v. 40, n. 7, p. 633-638, jul. 2005.

UMAÑA, C. L. A. **Distribuições diamétricas de árvores em dez hectares de floresta tropical úmida da Dois Mil madeireira,** Itacoatiara. 1997. 44p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

WORBES, M. **How to measure growth dynamics in tropical trees: a review.** IAWA Journal, 16(4): 337-351, 1995.