

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GABRIELLE HAMBRECHT LOUREIRO

DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE PARA
Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze

CURITIBA

2013

GABRIELLE HAMBRECHT LOUREIRO

DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE PARA
Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal, do Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Nelson Carlos Rosot

Co-Orientadores: Prof. Dr. Julio Eduardo Arce,
Prof. Dr. Cesar Augusto Guimarães Finger

CURITIBA

2013

Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR

Loureiro, Gabrielle Hambrecht

Diagrama de manejo da densidade para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze/
Gabrielle Hambrecht Loureiro. – 2013

71 f. : il.

Orientador: Dr. Nelson Carlos Rosot

Coorientadores: Dr. Julio Eduardo Arce

Dr. Cesar Augusto Guimarães Finger

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 25/02/2013.

Área de concentração: Manejo Florestal.

1. Povoamento florestal. 2. Pinheiro-do-Paraná. 3. Manejo florestal. 4. Povoamento florestal - Densidade. 5. Teses. I. Rosot, Nelson Carlos. II. Arce, Julio Eduardo. III. Finger, Cesar Augusto Guimarães. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.228



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

PARECER

Defesa nº. 959

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) mestrando(a) *Gabrielle Hambrecht Loureiro* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE PARA *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* em Engenharia Florestal, área de concentração em MANEJO FLORESTAL.

Denise Jeton Cardoso
Dr. Denise Jeton Cardoso

Embrapa Florestas
Primeiro examinador

Nelson Yoshihiro Nakajima
Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima

Universidade Federal do Paraná
Segundo examinador

Nelson Carlos Rosot
Dr. Nelson Carlos Rosot

Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora

Curitiba, 25 de fevereiro de 2013.

Antonio Carlos Batista
Antonio Carlos Batista

Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

Carlos Roberto Sanquetta
Carlos Roberto Sanquetta

Vice-coordenador do curso



Dedico...

Ao Professor Dr. Gonzalo Paredes (in memoriam)
pelo conhecimento e incentivo que levarei para toda a vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me proporcionou a vida e forças para enfrentar todas as barreiras encontradas no meu caminho;

Aos meus pais, Elson Farias Loureiro e Sandra Hambrecht Loureiro, e meu irmão Guilherme Hambrecht Loureiro, os maiores incentivadores dos meus estudos e sempre presentes nas minhas conquistas e vitórias;

Ao meu orientador Nelson Carlos Rosot, por ter acreditado no meu trabalho, pela confiança em mim depositada, e por ter proporcionado apoio, conhecimento e ferramentas.

Aos meus co-orientadores Julio Eduardo Arce, pela disponibilidade, empenho, e dedicação ao longo de todo o estudo, e a Cesar Augusto Guimarães Finger por ter disponibilizado seu tempo e oferecido valiosa contribuição científica, sendo fundamentais para o andamento da pesquisa.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidade Federais (REUNI) pela concessão da bolsa de estudos e aos professores da Universidade Federal do Paraná pelo conhecimento transmitido. Ao Programa de Pós - Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná pela oportunidade. Aos funcionários pela disponibilidade e prestação de serviços.

Aos professores da Universidade Federal de Santa Maria, Paulo Renato Schneider e Frederico Dimas Fleig pela colaboração científica.

A empresa Araupel, por disponibilizar os dados para o estudo, especialmente ao Sr. José Antonio S. Marafiga.

Aos Professores Afonso Figueiredo Filho, Carlos Roberto Sanquetta e Ana Paula Dalla Corte e ao Sr. Ernesto Hector Crechi pela disponibilidade em ceder dados, afim de agregar maior valor científico para a pesquisa.

A Gabriel Paes Marangon, pelo carinho e dedicação, por ter me apoiado e incentivado em todas as minhas decisões e caminhos trilhados.

A Rafaella De Angeli Curto, amiga e parceira neste trabalho, principalmente nos finais de semana e noites de cálculos, questionamentos e buscas por soluções. Ao amigo Pompeu Paes Guimarães pela grande ajuda na formatação e sugestões. Aos colegas e amigos Allan Pellissari, Ana Paula Fernandes, Aline Canetti, Hassan David, Jonas Vargas, Mahayana Ferronato, Maísa Buffon, Mariana Mausbach, Mariana Ferraz, Paulo André Trazzi, Rafael Leite Braz, Rômulo Môra, Sintia Valerio Kohler, Tanny Bonner e Tomaz Longhi por fazer parte da minha vida acadêmica e compartilhar conhecimentos.

Aos amigos da Pöyry Silviconsult pelo incentivo nas etapas finais do estudo.

E a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, mesmo que aqui não estejam citados, e que se sentem felizes com minha conquista.

Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes proezas da história foram conquistadas do que parecia impossível.

Charles Chaplin

RESUMO

O diagrama de manejo da densidade (DMD) permite encontrar a máxima produtividade em área basal e volume de um povoamento florestal, a partir de diferentes espaçamentos iniciais e densidades, indicando os momentos de intervenções de desbastes, evitando a mortalidade das árvores por concorrência e consequentes prejuízos econômicos. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi determinar um diagrama de manejo da densidade para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze a partir do modelo de Tang et al. (1994). Foram utilizados dados provenientes de Misiones na Argentina para a construção do DMD; e dados da empresa Araupel, da Estação Experimental de Rio Negro e da Floresta Nacional de Irati foram empregados para a validação do DMD. O modelo de Tang et al.(1994) foi selecionado devido a sua fácil aplicabilidade, e assim ajustado no espaçamento 1,5 x 1,5 m para a construção do DMD e espaçamentos 1,5 x 2,0m, 2,0 x 2,0m; 2,0 x 2,5m; 2,5 x 2,5m; 2,5 x 3,0m; 3,0 x,3,0m, 3,5 x 3,5m e 4,0 x 4,0m afim de verificar o comportamento deste modelo em diferentes situações de densidade. A partir da equação foram estimadas densidades para diâmetros médios quadráticos entre 4 e 46 cm em espaçamentos 1,5 m²; 2,5 m²; 4,0 m²; 6,0 m² e 9,0 m², modificando apenas as variáveis independentes número de árvores potencial por hectare e diâmetro médio quadrático no tempo t. Utilizando o mesmo modelo foram gerados o gráfico de autodesbaste, as zonas de concorrência, e Índices de Densidade do Povoamento (IDP) adotando um diâmetro médio quadrático padrão de 25 cm. Para obter o diagrama de manejo da densidade utilizando o volume como variável dependente, foi selecionado o melhor entre cinco modelos. Foi possível construir o diagrama de manejo da densidade com os dados de Misiones na Argentina para área basal e volume e validá-lo com os povoamentos *Araucaria angustifolia* em situações extremas de manejo, confirmando sua aplicabilidade para qualquer plantio homogêneo desta espécie. Além disso, foi verificado que os plantios mais adensados entram primeiro na zona de concorrência que os plantios com maiores espaçamentos.

Palavras chave: Modelo de Tang, espaçamentos, povoamento de *Araucaria angustifolia*.

ABSTRACT

The density management diagram (DMD) allows finding the maximum productivity in basal area and volume of a forest stand from different initial spacings and densities, indicating the moments of thinning avoiding tree mortality by competition and consequent economics losses. Therefore the objective of this study was to build a density management diagram for *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze from Tang et al. (1994) model. Data from Misiones (Argentina) were used for the DMD construction, and data from Araupel Company, Experimental Station of Rio Negro, and Irati National Forest were used to validate the DMD. The Tang et al. (1994) model was selected due to its easy application and thus adjusted in the density 1.5 x 1.5m for the density management diagram construction and the densities 1.5 x 2.0m, 2.0 x 2.0m; 2.0 x 2.5m; 2.5 x 2.5m; 2.5 x 3.0m; 3.0 x 3.0m, 3.5 x 3.5m and 4.0 x 4.0m in order to verify the behavior of this model in different density situations. From the density equations were estimated for quadratic mean diameters between 4 and 46 cm on spacing at 1.5 m²; 2.5 m²; 4.0 m²; 6.0 m² and 9.0 m², changing only the independent variables potential tree number per hectare and mean square diameter at time t. With the same model, the self thinning graphic zones of competition and Stand Density Indices (IDP) were generated, adopting a standard quadratic mean diameter of 25 cm. To obtain the density management diagram using volume as a dependent variable, the best among five models was selected. It was possible to construct the density management diagram with data from Misiones (Argentina) for basal area and volume and validate it with *Araucaria angustifolia* stands in extreme situations of management, confirming its applicability to any homogeneous planting of this species. Furthermore, it was found that denser initial spacing regimes come first in the competition zone then plantations with larger spacings.

Key words: Tang model, spacing, *Araucaria angustifolia* stand.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ZONAS DE CONCORRÊNCIA ORIGINADAS A PARTIR DO INCREMENTO DIAMÉTRICO EM DIFERENTES REGIMES DE MANEJO DE <i>Acacia melanoxylon</i> NA NOVA ZELÂNDIA.	25
FIGURA 2– DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE: A- LINHA DE MÁXIMA DENSIDADE E DIÂMETRO; B- INÍCIO DA MORTALIDADE; C- MÁXIMA PRODUTIVIDADE DO POVOAMENTO; D- OCUPAÇÃO DAS COPAS; B-C- ZONA DE MANEJO COM ESTOQUE COMPLETO.	29
FIGURA 3 – TRAJETÓRIA PADRÃO PARA DOIS POVOAMENTOS NÃO MANEJADOS (LINHAS PONTILHADAS I E II) E DOIS MANEJADOS (LINHAS TRACEJADAS III E IV); COM DIFERENTES DENSIDADES INICIAIS.	31
FIGURA 4 – DISTRIBUIÇÃO DAS PARCELAS DE <i>Araucaria angustifolia</i> NA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE RIO NEGRO.	35
FIGURA 5– NÚMERO DE ÁRVORES POR HECTARE OBSERVADO (LN (N)) EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO MÉDIO QUADRÁTICO (LN (DG)); AMBOS EM ESCALA LOGARÍTMICA, DO POVOAMENTO DE <i>Araucaria angustifolia</i> EM MISIONES (ARGENTINA).	41
FIGURA 6– GRÁFICO DE RESÍDUOS DO MODELO TESTADO.	44
FIGURA 7– AUTODESBASTE PARA O POVOAMENTO DE <i>Araucaria angustifolia</i> EM MISIONES- ARGENTINA.	45
FIGURA 8– ZONAS DE CONCORRÊNCIA PARA POVOAMENTOS DE <i>Araucaria angustifolia</i>	46
FIGURA 9– ÍNDICES DE DENSIDADE DO POVOAMENTO PARA POVOAMENTOS DE <i>Araucaria angustifolia</i> EM MISIONES – ARGENTINA.	47
FIGURA 10– DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE COM VARIÁVEL ÁREA BASAL (M ² /HA) PARA POVOAMENTOS DE <i>Araucaria angustifolia</i>	47

FIGURA 11– VALIDAÇÃO DOS DADOS DE <i>Araucaria angustifolia</i> PROVENIENTES DE MISIONES NA ARGENTINA NO DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE DE ÁREA BASAL.	51
FIGURA 12– GRÁFICOS DE DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS PARA ESTIMATIVA DE VOLUME COM OS MODELOS 1, 2, 3, 4 E 5.	56
FIGURA 13– DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE PARA <i>Araucaria angustifolia</i> EM MISIONES- ARGENTINA PARA A VARIÁVEL VOLUME.	57
FIGURA 14– VALIDAÇÃO DOS DADOS DE <i>Araucaria angustifolia</i> PROVENIENTES DE MISIONES NA ARGENTINA NO DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE DE VOLUME.....	58
FIGURA 15 – VALIDAÇÃO DO DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE PARA O POVOAMENTO DE <i>Araucaria angustifolia</i> DE 16 ANOS.....	62
FIGURA 16– VALIDAÇÃO DOS DADOS DE <i>Araucaria angustifolia</i> PROVENIENTES DA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE RIO NEGRO.	63
FIGURA 17– VALIDAÇÃO DOS DADOS DE <i>Araucaria angustifolia</i> PROVENIENTES DA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE RIO NEGRO TRATANDO AS BIFURCAÇÕES COMO DOIS INDIVÍDUOS.	64
FIGURA 18– VALIDAÇÃO DO DMD PARA O POVOAMENTO DE <i>Araucaria angustifolia</i> PROVENIENTE DA FLONA DE IRATI.....	65

LISTA DE TABELAS

TABELA 1–TRATAMENTOS E DENSIDADES INICIAIS DO EXPERIMENTO LOCALIZADO NA PROVÍNCIA DE MISIONES, ARGENTINA.....	33
TABELA 2–PARÂMETROS E RESULTADOS ESTATÍSTICOS DO MODELO ESTRATIFICADO POR ESPAÇAMENTO.....	42
TABELA 3–ÍNDICES DE DENSIDADE DO POVOAMENTO COM RESPECTIVAS ÁREAS BASAIS E DIÂMETROS.....	48
TABELA 4–EQUAÇÕES DE ESTIMATIVA DE VOLUME PARA CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE COM SUAS RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS.....	55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 ESPÉCIE EM ESTUDO: <i>Araucaria angustifolia</i> (Bert.) O. Ktze	17
2.2 CRESCIMENTO E PRODUÇÃO	19
2.3 MODELOS DE DENSIDADE E AUTODESBASTE	24
2.4 DIAGRAMAS DE MANEJO DA DENSIDADE	28
3 MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	32
3.1.1 Campo anexo Cuartel Rio Victoria (INTA-Misiones)	32
3.1.2 Povoamento da Empresa Araupel.....	33
3.1.3 Estação Experimental de Rio Negro	33
3.2 MODELO DE DENSIDADE TESTADO	35
3.3 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DO MODELO	36
3.4 ELABORAÇÃO DO DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE.....	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 ESTATÍSTICAS DO MODELO	41
4.2 DETERMINAÇÃO DO AUTODESBASTE	44
4.3 CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE.....	46
4.4 VALIDAÇÃO DO DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE.....	61
4.4.1 Dados da Empresa Araupel	61
4.4.2 Dados da Estação Experimental de Rio Negro	62
5 CONCLUSÃO	66
REFERÊNCIAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

A araucária já foi a principal espécie arbórea brasileira explorada comercialmente (SOUSA, 2000). No século XIX foi utilizada sem nenhuma preocupação, sendo o corte de caráter extrativista um dos fatores responsáveis pela diminuição das reservas de florestas naturais na sua região de ocorrência (SANTOS, 2006).

A redução das florestas de araucária devido ao corte desenfreado fez com que esta fosse inserida na lista de espécies em extinção. A araucária apresenta características físico-mecânicas superiores às das espécies exóticas plantadas no Brasil como os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, porém seu cultivo está em declínio há algumas décadas devido aos obstáculos que os produtores têm que enfrentar para sua utilização. Por ser uma árvore nativa inserida na lista de espécies em extinção, sua produção e manejo sofrem pressões das legislações ambientais, o que gera desinteresse do produtor rural, substituindo os plantios de araucária pelos de *Pinus*.

A araucária sofre pressões até mesmo nos procedimentos adotados para sua sobrevivência, como a legislação tão rigorosa que restringe totalmente o corte. Antigamente, o agricultor incentivava o crescimento da espécie, semeando pinhões na mata, hoje as novas gerações destroem as mudas de araucária na floresta, para não deixar que sua presença limite o uso da terra.

Os poucos plantios comerciais de araucária e a drástica redução da taxa de implantação limitaram o desenvolvimento de novas pesquisas e tecnologia para esta espécie (SANTOS, 2006). A silvicultura desta espécie ainda é pouco conhecida, sendo implantada sem um objetivo claro de produção (CRECHI 1996; SANTOS 2006).

No manejo de povoamentos florestais, o conhecimento das inter-relações entre a densidade das árvores por hectare e o desenvolvimento em diâmetro são de extrema importância, pois com o envelhecimento do povoamento ocorre o aumento da taxa de mortalidade de indivíduos, a qual deve ser evitada com a antecipação de intervenções de desbastes com uma intensidade adequada à produtividade do sítio e velocidade de crescimento da espécie (SCHNEIDER, 2006b).

A determinação e a previsão da produtividade de um povoamento podem ser realizadas pelo controle da densidade, pois este fator pode ser manejado antes, por

meio da determinação dos espaçamentos iniciais, ou ao longo do desenvolvimento da floresta, com desbastes. Ainda hoje existem divergências quanto a escolha do espaçamento inicial e o momento de intervenções de desbaste para alcançar a máxima produtividade em plantios de *Araucaria angustifolia*.

Existem muitos estudos sobre a relação entre o tamanho e o número de árvores em povoamentos florestais como o método da percentagem da altura de Wilson (1946), como a regra do D-máximo de Mitchell (1943), a lei do autodesbaste de Yoda et al. (1963), o modelo de autodesbaste de Tang et al. (1994) e o índice de densidade de Reineke (1933), que tem sido muito estudado ao longo do tempo, para várias espécies.

Segundo Thomas (2009) os dendrogramas de manejo da densidade descrevem graficamente a relação existente entre área basal, número de árvores por hectare e o diâmetro da árvore de área basal média, o que permite monitorar o povoamento quanto à sua densidade, e orientar intervenções de desbaste de maneira fácil e rápida, maximizando a utilização do sítio, mediante um controle adequado dos níveis da competição.

Com o diagrama de manejo da densidade é possível determinar a máxima produtividade em área basal e volume, a partir de dados de florestas plantadas superestocadas, indicando os momentos de intervenções de desbastes evitando a mortalidade das árvores pela concorrência e consequentes prejuízos econômicos.

O objetivo geral deste estudo foi determinar um diagrama de manejo da densidade para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze a partir do modelo de Tang (1994).

Como objetivos específicos foram definidos os seguintes:

- Estudar o comportamento do modelo de autodesbaste de Tang em relação ao aumento do diâmetro médio quadrático em povoamentos equiâneos;
- Definir a amplitude dos índices de densidade do povoamento para o diagrama de manejo da densidade;
- Construir o diagrama de manejo da densidade (DMD) com dados da província de Misiones (Argentina) e validá-lo a partir de dados do Brasil da Estação Experimental de Rio Negro, Empresa Araupel e da Floresta Nacional de Irati;
- Selecionar o melhor modelo volumétrico para a construção do diagrama de manejo da densidade;

- Analisar o momento de mortalidade por concorrência em povoamentos homogêneos, plantados em diferentes espaçamentos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ESPÉCIE EM ESTUDO: *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze

A *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze ocorre desde o estado do Rio Grande do Sul até Minas Gerais, em altitudes superiores a 900 metros, sendo que nos estados do sul do Brasil ocorre em regiões acima de 500 m de altitude (LORENZI, 1992).

As espécies da família Araucariaceae encontram-se unicamente no Hemisfério Sul, sendo que apenas duas delas ocorrem na América do Sul: a *Araucaria araucana* e a *Araucaria angustifolia*. Esta que é denominada pinheiro-do-paraná apresenta ampla área de ocorrência natural, abrangendo populações esparsas na região Sudeste, em toda a região Sul do Brasil, na Argentina (região de Misiones) e no Paraguai. (EMBRAPA, 2001).

Conhecida por Araucária, Pinheiro ou Pinheiro do Paraná, esta espécie é característica da Floresta Ombrófila Mista ou floresta com Araucárias, integrante do bioma Mata Atlântica (DONI FILHO, AMARAL e CERVI, 1985).

Esta espécie é uma conífera brasileira, perenifólia, de tronco reto e quase cilíndrico, com altura que pode variar entre 10 e 35m, alcançando melhor desenvolvimento a partir dos 30 anos de idade (AQUINO, 2005).

Segundo Bandel e Gurgel (1967), essa planta é dioica com predominância de indivíduos machos tanto em áreas de ocorrência natural como em plantios. A primeira floração pode ocorrer antes dos 15 anos em plantas isoladas e antes dos 20 anos de idade nas populações naturais (AQUINO, 2005).

Vários produtos madeireiros e não madeireiros podem ser obtidos dessa espécie, como: madeira serrada e roliça, pinhão, energia, celulose de fibra longa resultando em papel de excelente qualidade, resinas, obtidas principalmente da casca, breu, vernizes, óleos, entre outros (EMBRAPA, 2001).

Essa espécie ocorre em diferentes tipos de solo como solos escuros e férteis derivados do basalto no sudoeste do Paraná e oeste de Santa Catarina e até mesmo solos pobres como os derivados do Arenito Furnas nos Campos Gerais do Paraná (MACHADO e SIQUEIRA, 1980).

Sanquetta e Tetto (2000) comprovaram a exigência dessa espécie, pois identificaram no sul do estado do Paraná plantios sob mesmo regime climático, que

possuíram diferentes amplitudes no incremento em volume, isso atribuído às condições de fertilidade e profundidade do solo.

Segundo Santos (2006), os primeiros plantios de araucária eram executados em áreas de campo e cerrado, e posteriormente foi constatado que essa espécie é exigente em solos, recomendando solos profundos e, de preferência, originalmente cobertos por florestas.

Primitivamente as áreas de Araucária ocupavam aproximadamente totalmente 7,5 milhões de hectares.

A redução drástica dos maciços florestais da espécie em questão ocorreu devido à instalação de indústrias madeireiras em toda a área de dispersão natural dessa espécie e, posteriormente, com a agricultura houve queima e roça de áreas de florestas, levando à extinção em grandes áreas (HESS, SCHNEIDER e FINGER, 2009).

No Paraná houve uma exploração mais intensiva durante a construção da estrada de ferro no século XIX que ligava o litoral ao primeiro planalto, devido ao desenvolvimento dessa região (FUPEF, 1978).

Na Argentina em 1960, por meio dos incentivos fiscais e a necessidade de diversificar a produção florestal, a *Araucaria angustifolia* foi implantada por possuir características desejáveis ao mercado de madeira. Porém, aos poucos foi substituída por outras espécies como *Pinus elliotii* var. *elliotii* e *Pinus taeda* L (CRECHI, 1996).

Os primeiros plantios em grande escala no Brasil iniciaram em 1920, atingindo o auge com o surgimento do incentivos fiscais na década de 60 (Santos, 2006). No entanto, segundo Dietrich (1979) os plantios de Araucária declinaram devido aos mesmos problemas da Argentina: problemas ecológicos da espécie, como exigência de solos produtivos, e forte concorrência das espécies exóticas, menos exigentes em relação a fatores edáficos e com períodos mais curtos de rotação.

A espécie *Araucaria angustifolia* apresenta um grande potencial, porém é pouco conhecida em termos de crescimento e produção, qualidade do sítio e silvicultura (SANTOS, 2006).

Ainda existe um restrito mercado para a madeira de Araucária, porém, sob domínio de poucas empresas do setor de papel e celulose, serrarias e laminadoras, principalmente no Estado do Paraná (AQUINO, 2005).

De acordo com as características desta espécie como alto potencial madeireiro, boa forma de tronco e qualidade da madeira, dentre outras, não existe ainda conhecimento sobre suas diferentes formas de manejo, principalmente no que diz respeito ao seu comportamento em plantios homogêneos. Haja visto seu potencial, torna-se importante o entendimento do comportamento dessa espécie em superestocagem e também seu desempenho após desbaste, principalmente em relação ao diâmetro, variável bastante influenciada por esse trato silvicultural.

2.2 CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

O crescimento de uma árvore está relacionado ao acréscimo nas dimensões de altura, diâmetro, área basal e volume. No entanto, a produção se refere ao resultado do crescimento (crescimento acumulado), ou seja, o tamanho final após um período de observação (SPATHELF e NUTTO, 2000).

No processo de crescimento, à medida que cada árvore cresce, há maior necessidade de espaço para o desenvolvimento da copa, raízes e fuste. Nos povoamentos, a área útil de uma árvore pode ser limitada pelas árvores vizinhas, gerando competição entre copas e raízes, o que afeta o crescimento em diâmetro (HILEY, 1959).

A densidade pode ser descrita pelo número de árvores por hectare e está relacionada com a idade e sítio. Porém a taxa de crescimento das árvores é controlada pelo espaço, ou seja, grau de ocupação do espaço físico, o qual é afetado pela área das copas e sistema radicular (SELLE, 2009).

Diante dos fatores que determinam a produtividade de um povoamento florestal, o sítio seguido da densidade são os fatores de maior relevância (DANIEL, HELMS e BACKER, 1982). Segundo Spurr (1952) a densidade dos povoamentos é expressa pelo número de árvores por unidade de área. Porém, é mais efetiva quando combinada com uma variável que indique o desenvolvimento do povoamento como, por exemplo, o diâmetro médio ou altura dominante.

De acordo com Silva, Bellote e Ferreira (2003) e Schneider (2008a), o crescimento em diâmetro é mais influenciado pela densidade que a altura. Schneider (2008a) ainda relata que o crescimento em altura será influenciado apenas quando a densidade for tão elevada que produza a estagnação do crescimento ou, o povoamento seja tão ralo que as árvores para alcançar estabilidade devido à

exposição às tensões do vento, concentrem o crescimento apenas na parte inferior do fuste e raízes.

De acordo com Schneider (2008b), em povoamentos equiâneos é fundamental o conhecimento das inter-relações entre a densidade das árvores por hectare e o desenvolvimento do diâmetro ao longo do tempo, pois com o envelhecimento dos povoamentos há um aumento na taxa de mortalidade dos indivíduos, que deve ser evitada por meio de intervenções silviculturais, como desbastes.

Crechi (1996) considera importante também o conhecimento prévio do crescimento e composição diamétrica da floresta, para diferentes densidades de plantio, ressaltando-as como condições necessárias para avaliar as alternativas e escolhas mais convenientes para o manejo da floresta.

O diâmetro médio quadrático dg é o diâmetro da árvore de área basal média, o qual pode gerar um DMD mais preciso (ARCHIBALD E BOWLING, 1995) e pode ser calculado a partir das medidas do DAP como segue:

$$dg = \sqrt{\frac{\sum DAP^2}{n}} \quad (1)$$

onde: n = número de árvores aferidas; e d = diâmetro à altura do peito (cm).

É conhecido que o diâmetro, além de sua fácil medição, fornece base para muitos cálculos, dentre estes a estimativa da área basal (SOARES, PAULA NETO, SOUZA, 2011). De acordo com Spurr (1952), a área basal é uma ferramenta simples e muito utilizada para o estudo da densidade, pois expressa em m^2/ha as medições dos diâmetros e número de árvores.

Crechi (1996) em seu estudo sobre efeitos da densidade da plantação sobre a produção, crescimento e sobrevivência de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., confirmou que a densidade do plantio afeta significativamente o diâmetro médio quadrático, diâmetro médio aritmético, área transversal média e volume médio.

Crechi (1996) também cita a importância da área basal e conhecimento da evolução da mesma em função da idade e/ou outras variáveis, para a tomada de decisão no manejo da floresta, principalmente no que se refere a intensidades de desbaste.

Nesse contexto, Assmann (1970) introduziu o conceito de área basal crítica, em que abaixo desta são esperadas perdas no crescimento em volume. O mesmo autor relata ainda que a área basal crítica seria um bom indicador dos limites de desbaste, conseqüentemente, do espaço vital. Esse limite deve manter a produção volumétrica a um nível de 95% do incremento volumétrico máximo.

O espaço vital, segundo Schneider (2008a), é a única variável que influencia o diâmetro, podendo ser controlada, o que está diretamente relacionada à qualidade e valor da matéria-prima produzida. Outros autores como Kramer e Koslowski (1960), discorrem a respeito do espaço vital, como uma variável diretamente relacionada ao fator de competição ou concorrência, pois as árvores encontram-se envolvidas num processo dinâmico pela existência em que muitas acabam sendo eliminadas pela seleção natural durante a competição por espaço.

Com o desenvolvimento das árvores, suas copas e raízes necessitam gradativamente de mais espaço para crescer; caso esse espaço torne-se restrito inicia-se a concorrência, gerando a morte de indivíduos das posições sociológicas menores como as dominadas (Schneider, 2008a; Scheeren, 2003).

A competição entre os indivíduos em uma floresta equiânea afeta diretamente o incremento individual, o qual é alterado de acordo com a dimensão das árvores do povoamento.

Por exemplo, um povoamento formado por um grande número de árvores pequenas pode apresentar um elevado incremento total, porém com pouco valor agregado aos indivíduos. Já em um povoamento com poucas árvores, porém de maior tamanho, poderá haver um incremento máximo menor ou igual, no entanto com maior valor agregado aos indivíduos. Ou seja, o valor por unidade de volume aumenta com o tamanho da árvore, tamanho do povoamento e qualidade da madeira, entre outros (Schneider, 2008a).

Fishwick (1976), Gomes (1997) e Berger (2002) chegaram à conclusão que maiores densidades arbóreas resultam em indivíduos mais finos, porém maior volume total, devido à maior superfície ocupada pelas árvores.

Sendo assim, em maiores densidades ocorre em elevado número de árvores dominadas, com madeira mais densa, destinadas, principalmente, para fins energéticos. No entanto, povoamentos com densidades menores produzirão madeiras de melhor qualidade, destinadas para fins mais nobres (GOMES, 1997; BERGER, 2002).

Segundo Schneider (2008b), um povoamento florestal quando em alta densidade gera a mortalidade, também conhecida como autodesbaste, é resultado da competição por água, luz e nutrientes entre os indivíduos. Portanto, o autodesbaste gera um decréscimo exponencial na densidade, promovendo o incremento em tamanho dos indivíduos.

Segundo Tang et al. (1994), em povoamentos com densidade completa e superestocados, o autodesbaste inicia antes do povoamento atingir a máxima densidade e se intensifica com o aumento da densidade, atingindo o máximo de autodesbaste.

Alder (1980) salienta a importância de considerar a mortalidade nos modelos de crescimento e produção, e relata que a primeira causa de mortalidade ocorre no estabelecimento do plantio, referente àquelas plantas que não sobrevivem ao primeiro ano, sendo este mais associado às técnicas de plantio e solo, condições meteorológicas, qualidade do sítio, idade das mudas, época de plantação, controle de ervas daninhas, formigas e adubação.

Silva, et al. (2003) também consideram o estabelecimento do plantio um fator que deve ser levado em consideração na mortalidade, principalmente no que se refere ao espaçamento inicial. Segundo os autores o planejamento da densidade inicial deve ter como objetivo o máximo retorno por área. Ou seja, o local não deve ser subutilizado com baixa densidade, pois os recursos disponíveis não serão aproveitados pelas árvores e também haverá menor produção por área devido à baixa quantidade de indivíduos. No entanto, em alta densidade os recursos não serão suficientes para atender à demanda do povoamento, gerando um decréscimo na produtividade e qualidade das árvores. Ainda, plantios com grandes espaçamentos, onde a densidade é baixa e o volume individual alto, ocorrem árvores mais cônicas, que exigem mais custos com tratamentos culturais e desbastes tardios. Já em plantios com pequenos espaçamentos, onde a densidade é alta e o volume individual baixo, ocorre um fechamento do dossel mais cedo, fustes com menor conicidade, exigindo desbastes precoces e maiores custos com a implantação.

Para um desenvolvimento mais homogêneo é desejada a distribuição uniforme dos indivíduos no povoamento, o que facilita a busca por espaço (HILEY, 1959). Para essa uniformização sem a perda de indivíduos devido a competição

realizam-se os desbastes, os quais agregam valor à madeira em pé e evitam a perda das árvores de menores classes diamétricas.

Segundo Assmann (1970), os desbastes não objetivam apenas a aceleração do crescimento em diâmetro, mas também a concentração do crescimento em um menor número de árvores. Os povoamentos mais jovens podem responder melhor à adequação das condições do sítio provocado pela retirada de alguns indivíduos, e conseqüentemente um aumento no crescimento em volume, processo chamado pelo autor de “efeito de aceleração de crescimento”, que propicia a antecipação da culminação do incremento corrente em volume. Contudo, a aceleração é apenas temporária, pois após essa aceleração ocorre um declínio na curva de incremento. Além disso, povoamentos desbastados de forma mais leve, podem ao final do ciclo, atingir os mesmos índices alcançados pelo povoamento que obteve uma aceleração do crescimento.

Existem casos extremos, citados por Daniel et al. (1982), em que não há resposta de aceleração de crescimento imediata, isso porque a árvore necessita de um período de tempo para a formação de área foliar e superfície radicular suficiente para produzir um aumento na espessura dos anéis de crescimento. O autor também descreve que a duração do período de crescimento acelerado depende da velocidade em que as árvores vizinhas voltam a concorrer com o indivíduo.

Glufke, Finger e Schneider (1997) no estudo sobre o crescimento de *Pinus elliottii* Engelm submetido a diferentes intensidades de desbaste, confirmam que as técnicas de desbaste permitem o aumento da área transversal individual devido ao aumento do espaço vital e conseqüente aumento na disponibilidade de nutrientes e luz, o que compensa a retirada das árvores de menor porte mantendo a área basal quase inalterada, obtendo-se assim, árvores com maiores diâmetros.

A regulagem correta da densidade é fundamental para a condução do povoamento, possibilitando predições das condições futuras. Isso é possível devido à evolução dos modelos matemáticos e à incorporação dos conceitos biológicos, como competição interespecífica, baseado nas relações densidade e tamanho que referem-se às variáveis dendrométricas como o número de árvores, área basal, entre outras. Esse conjunto permite a construção de ferramentas para a condução dos povoamentos florestais (SELLE, 2009).

2.3 MODELOS DE DENSIDADE E AUTODESBASTE

Segundo Curtis (1972) e Long e Smith (1985), os mais eficientes índices de densidade são aqueles que relacionam o tamanho da árvore média (diâmetro, altura, biomassa ou volume) com o número de árvores.

Os estudos mais relevantes e conhecidos sobre a relação tamanho/número de árvores de um povoamento foram efetuados por Yoda et al (1963) com a lei dos $-3/2$ ou lei do autodesbaste (“*-3/2 law of self thinning*”) com coeficiente angular $-1,5$ e o índice de densidade do povoamento de Reineke (1933) com coeficiente angular $-1,605$.

Para povoamentos com densidade máxima e mortalidade por competição, Reineke (1933) desenvolveu um modelo que expressa a relação linear em escala de duplo logaritmo, entre o diâmetro médio quadrático (d_g) e o número de árvores por hectare (N), com um valor constante do coeficiente angular de $-1,605$. Essa relação entre o logaritmo de N e logaritmo de d_g é expressa de forma linear.

$$\ln N = \alpha + \beta \ln d_g \quad (2)$$

onde: N é o número de árvores por hectare; d_g o diâmetro médio quadrático do povoamento (cm) e α e β coeficientes do modelo.

Reineke (1933) ainda descreve que os parâmetros da equação são independentes da idade e qualidade de sítio, onde a posição da linha, cujo coeficiente angular é determinado por uma constante, varia com as espécies indicando sua tolerância relativa à competição.

Apesar de Reineke (1933) sugerir o gradiente $-1,625$ para o coeficiente β para algumas espécies em seu trabalho, estudos realizados por Del Rio et al. (2001) sobre o coeficiente angular, constataram uma variação por espécie e, muitas vezes, para valores entre $-2,33$ e $-1,54$. Schneider (2008b), Téo et al. (2008) e Thomas (2009) também encontraram diferentes coeficientes angulares em seus estudos com *Pinus taeda*, *Pinus elliottii* e *Mimosa scabrella* respectivamente.

Curtis (1982) demonstrou por meio do modelo de Reineke a relação entre a área basal (G) e o diâmetro médio quadrático (d_g), na seguinte fórmula:

$$G = a. (d_g)^b \quad (3)$$

Assim, segundo o mesmo autor, com a equação de Reineke, a densidade relativa (DR) passa a ser obtida por:

$$DR = \frac{G}{(d_g)^b} \quad (4)$$

A densidade relativa é utilizada para expressar as zonas de concorrência do povoamento florestal quando relacionadas com o incremento médio em uma idade específica para cada espécie em diferentes densidades iniciais. Um exemplo de sua aplicação é descrito por Reid (2004) em seu trabalho com *Acacia melanoxylon*, onde foram gerados limites potenciais de crescimento para uma densidade relativa de 10 (FIGURA 1).

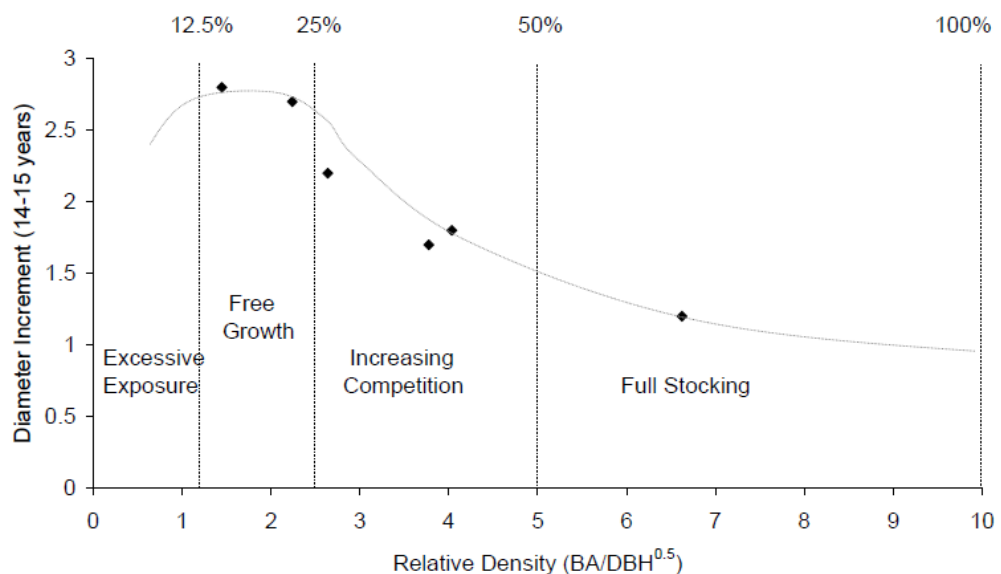


FIGURA 1 – ZONAS DE CONCORRÊNCIA ORIGINADAS A PARTIR DO INCREMENTO DIAMÉTRICO EM DIFERENTES REGIMES DE MANEJO DE *Acacia melanoxylon* NA NOVA ZELÂNDIA.

FONTE: REID (2004)

Na FIGURA 1 nota-se que a densidade relativa permite visualizar as zonas de concorrência da espécie, as quais são utilizadas no DMD. Pode-se perceber quando o crescimento é livre, quando há início de competição, e quando chega ao estoque completo. As porcentagens das zonas de concorrência podem variar de acordo com a espécie. Por isso é importante o cálculo da densidade relativa frente

ao incremento médio anual, para o entendimento do desenvolvimento das espécies em diferentes densidades.

Segundo Spurr (1952), o declive da reta formada pelo modelo de Reineke pode definir os limites do estoque máximo ou momento que ocorre o autodesbaste. Porém muitos modelos foram desenvolvidos baseados no modelo de Reineke (1933) para explicar a mortalidade das árvores pela densidade.

O modelo de Yoda et al. (1963) foi desenvolvido com base na lei do autodesbaste para culturas anuais agrícolas, e descreve uma situação numa população de plantas em crescimento onde ocorre um aumento na massa individual dos indivíduos e uma concomitante redução no número de indivíduos por unidade de área. Os mesmos autores também verificaram uma tendência linear com inclinação próxima a $-3/2$ quando plotados o logaritmo da massa média dos indivíduos com o logaritmo da densidade populacional.

Yoda et al. (1963) adicionaram no modelo de densidade de Reineke (1933) um termo quadrático do diâmetro para representar o número de árvores (N) em função do diâmetro quadrático (d_g), resultando como modelo de densidade:

$$\text{Ln}(N) = b_0 - b_1 \cdot \text{Ln}(d_g) + b_2 (\text{Ln}(d_g))^2 \quad (5)$$

Tanto a lei do autodesbaste quanto o modelo de Reineke (1933) são baseados no conceito de máxima relação tamanho-desbaste demonstrando que a inclinação da linha do logaritmo do volume médio versus o logaritmo do número de árvores por unidade de área é aproximadamente $-3/2$, e o intercepto muda conforme a espécie. Isso significa que a lei do autodesbaste está intimamente relacionada com o Índice de densidade do povoamento (IDP), e são matematicamente equivalentes o número de árvores por unidade de área (AVERY e BURKHART, 1994).

Zeide (1995) estabeleceu uma nova relação para estimar N com a relação entre diâmetro e altura, definida pela seguinte expressão:

$$\text{Ln}(N) = b_0 - b_1 \text{Ln}(d_g) + b_2 h \text{Ln}(d_g) \quad (6)$$

onde: h é a altura total média; d_g o diâmetro médio quadrático; e b_2 o parâmetro que representa a variação do coeficiente angular.

Tang et al. (1994) estenderam a lei do autodesbaste e constataram que o autodesbaste inicia antes do povoamento atingir a máxima densidade. Esse modelo é expresso por:

$$\text{Ln}(N)_{(t)} = \text{Ln}(S_f) - \frac{1}{\gamma} \text{Ln} \left[(d_{(t)})/d_0 \right]^{\beta\gamma} + \delta \quad (7)$$

onde: t é a idade do povoamento; β parâmetro da taxa máxima de autodesbaste de densidade completa; $N(t)$ a densidade no tempo t (número de árvores por hectare); $d_{(t)}$ o diâmetro médio das árvores no tempo t (cm); S_f índice mínimo de densidade do povoamento; γ o índice de autodesbaste; e d_0 o diâmetro básico padrão (25 cm). A constante δ dependente da integração dos valores iniciais da densidade do povoamento (N_1) e o diâmetro médio inicial (d_1), sendo obtida pela relação:

$$\delta = (S_f/N_1)^\gamma - (d_1/d_0)^{\beta\gamma} \quad (8)$$

Nesse modelo a lei do autodesbaste pode ser considerada um caso especial, pois permite obter, para um diâmetro qualquer, a densidade e a produção (SCHNEIDER, 2011).

Ao encontrar o valor do coeficiente angular do melhor modelo para representar a densidade pode-se calcular o Índice de Densidade do Povoamento de Reineke (IDP). O IDP expressa o número de árvores por unidade de área que um povoamento deverá ter com um determinado diâmetro médio quadrático (TÉO et al., 2008). Segundo o mesmo autor, para facilitar a comparação com outros índices é utilizado o número de árvores com base no diâmetro médio quadrático de 25 cm, equivalente a aproximadamente 10 polegadas no sistema inglês de medidas.

Em outras palavras, o IDP indica o número de árvores por unidade de área que um povoamento pode conter para alcançar um diâmetro médio fixado convencionalmente como objetivo (SCHNEIDER, 2008). O mesmo autor também destaca que a mesma espécie em habitats diferentes tende a limites de densidade diferentes, porém com a mesma tendência, por isso são gerados valores de IDP com limites paralelos e proporcionais para diferentes níveis de densidade de árvores por unidade de área.

$$IDP = N_{(t)} \left(\frac{d_g(t)}{d_0} \right)^\beta \quad (9)$$

onde: d_0 é o diâmetro padrão básico, normalmente definido como sendo igual a 25 cm; d_g o diâmetro quadrático médio no tempo t ; N o número de árvores por hectare no tempo t ; e β o coeficiente angular obtido na equação de Reineke.

2.4 DIAGRAMAS DE MANEJO DA DENSIDADE

O diagrama de manejo da densidade (DMD) também conhecido como dendrograma de manejo da densidade, de acordo com Thomas (2009) é utilizado para monitorar o povoamento florestal quanto à sua densidade, podendo orientar intervenções silviculturais como desbastes, maximizando assim a produção por meio do controle da competição.

Essa técnica é baseada na teoria do autodesbaste que permite visualizar a mudança das variáveis dendrométricas em diferentes densidades (Schneider, 2008b), descrevendo por meio do gráfico a relação entre a área basal, o número de árvores por hectare e o diâmetro médio, incluindo curvas de referência para diferentes sítios (GEZAN et al., 2007)

Ginrich (1967) foi pioneiro em estudos relacionados à elaboração de diagramas de manejo da densidade para povoamentos florestais. Também foram desenvolvidos para espécies de coníferas e latifoliadas por Rogers (1983), Day (1998) no hemisfério norte, e no Brasil mais recentemente por Schneider (2008b), Thomas (2009), Selle (2009) e Meyer (2011).

Os dendrogramas são baseados na curva de área basal máxima, e a partir desta, os níveis de densidade são calculados por proporção (GEZAN et al. 2007). A área basal máxima é calculada com o número máximo de árvores por hectare e um diâmetro quadrático de referência, gerando assim a curva máxima à qual corresponde a máxima ocupação do local, onde o IDP é máximo (THOMAS, 2009).

Sterba e Monserud (1993) destacaram a dificuldade em encontrar populações florestais em máxima densidade, já que, frequentemente, essa densidade não é alcançada devido à mortalidade natural.

O DMD é formado por 4 linhas (A, B, C e D), as quais indicam a ocupação do sítio. A linha A representa a máxima densidade, quando o sítio está 100% ocupado, conseqüentemente quando há mortalidade por competição. A linha B representa o início da mortalidade por competição. Já a linha C indica o momento

em que o povoamento florestal está em máxima produtividade e a linha D o fechamento do dossel. Essas curvas são plotadas em um diagrama que relaciona o dg (eixo y) e densidade (eixo x) com comportamento linear com exceção da linha D (FIGURA 2).

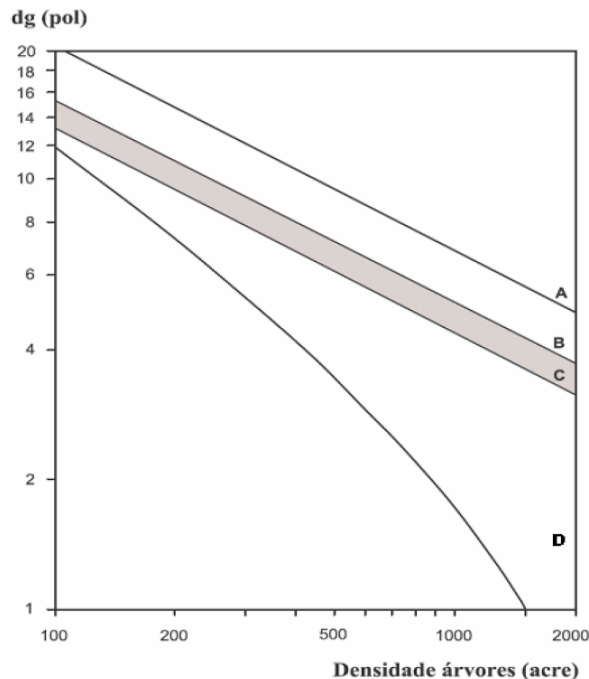


FIGURA 2– DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE: A- LINHA DE MÁXIMA DENSIDADE E DIÂMETRO; B- INÍCIO DA MORTALIDADE; C- MÁXIMA PRODUTIVIDADE DO POVOAMENTO; D- OCUPAÇÃO DAS COPAS; B-C- ZONA DE MANEJO COM ESTOQUE COMPLETO.

FONTE: SAUDERS E PUETTMANN (2000)

Segundo Schneider (2008b), entre as linhas B-C, encontra-se a condição ótima de manejo em que se consegue o estoque completo. Já o intervalo entre as linhas A-B indica a condição em que o povoamento está superestocado, e abaixo da linha C a condição em que o povoamento está subestocado com baixo aproveitamento do sítio.

Segundo Gingrich (1967), o limite inferior de ocupação total da área, quando a copa das árvores está em crescimento livre, ocorre entre 55 e 58%, tendo como referência a ocupação máxima de 100%. A área entre a linha de estoque máximo e a linha de mínimo é considerada estoque completo, pois todo o espaço está ocupado.

Harrington (1997) verificou, para *Pinus taeda* L., que a mortalidade dependente da densidade iniciou entre os valores de 50 e 55 % da densidade máxima e Gezan *et al.* (2007) mencionam que diversos estudos definem que este estágio de desenvolvimento de um povoamento acontece entre 50 e 60 % da densidade máxima.

Um método bastante utilizado para representar essas linhas de densidade, segundo Schneider (2008b), é por meio do índice de densidade do povoamento (IDP). Esse método utiliza como base a densidade das árvores por hectare com diâmetro médio quadrático padrão de 25 cm e as linhas são geradas em intervalos fixos de número de árvores.

A linha A é produzida a partir de dados de povoamentos com densidade completa. As linhas B e C, segundo Saunders e Puettmann (2000), são obtidas algebricamente a partir da linha A, utilizando como base uma densidade relativa teórica de 55 e 40%, e a linha D, definida com as informações de árvores que se desenvolvem livremente, representa a densidade de fechamento das copas.

Os mesmos autores acrescentam que em povoamentos naturais com mesma densidade inicial, porém crescendo em sítios diferentes, ambos seguirão a mesma trajetória no DMD. No entanto, o povoamento com melhor qualidade de sítio incrementará em densidade mais rápido que o de sítio de pior qualidade.

Numa condição de manejo sem desbaste, o crescimento em diâmetro e a taxa de autodesbaste estão relacionados ao crescimento da área basal (Schneider, 2008b). Quando esse autor fala em dependência, refere-se à utilização dos cálculos para valores de diâmetro mínimo, onde ocorre o incremento ao longo do diagrama. Já em casos de plantações em máxima densidade e diâmetro (linha I), o povoamento atinge mortalidade (linha B) e incrementa em direção a linha A, e em densidades de plantio menor, demora mais para alcançar a mortalidade, porém a linha A é atingida com um maior valor (FIGURA 3).

Já nas situações de povoamentos desbastados (linhas III e IV), segundo Schneider (2008b), a produção da colheita ocorre no ponto H do diagrama, sobre a linha de início da mortalidade (linha B). Nessas situações, em povoamentos com maior densidade de plantio (linha III) e dois desbastes a idade de colheita é atingida com menor densidade no ponto H. Já em densidades de plantio menores (IV) e apenas 1 desbaste, a colheita ocorre mais tarde, porém com maiores diâmetros (FIGURA 3).

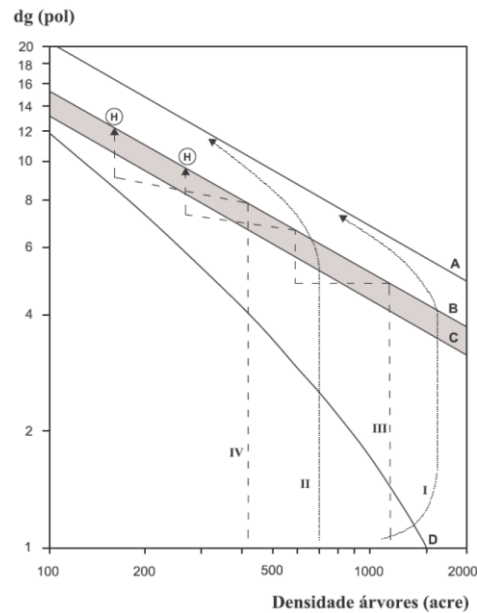


FIGURA 3 – TRAJETÓRIA PADRÃO PARA DOIS POVOAMENTOS NÃO MANEJADOS (LINHAS PONTILHADAS I E II) E DOIS MANEJADOS (LINHAS TRACEJADAS III E IV); COM DIFERENTES DENSIDADES INICIAIS.

FONTE: SAUNDERS E PUETTMANN (2000) apud SCHNEIDER (2008b).

Chapman (1953) e Schultz (1997) em seus estudos com *Pinus taeda* recomendam reduzir a área basal dos povoamentos quando os mesmos alcançam entre 27 e 28 m²/ha para 18 m²/ha, o que equivale um IDP de 350. Já povoamentos com área basal entre 22 e 23 m²/ha e diâmetro médio de 25,4 cm, ou seja, IDP 450 e 540, são considerados valores ótimos para povoamentos em idade média.

Dean et al. (1993) recomendam para *Pinus taeda* intervenções quando o IDP alcança 550 reduzindo-o para um índice de 330, pois nesse nível as árvores têm espaço suficiente para crescer sem competição.

Jennings (1991) relata que para *Acacia melanoxylon* a área basal limite é de 45 m²/ha, porém destaca que esta aproxima-se muito da linha de autodesbaste.

Schneider et al. (2011) descrevem em seu estudo com *Eucalyptus saligna* que a proporção diâmetro médio e área basal por hectare deve ser mantida constante em plantações manejadas, pois isso faz com que sejam produzidas árvores com crescimento livre. Porém, os mesmos autores recomendam para essa espécie uma proporção \bar{d} : G decrescente no tempo por meio dos desbastes, pois o aumento do diâmetro e desenvolvimento da copa geram um incremento e consequente competição.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados provenientes de Misiones na Argentina foram utilizados para a construção do DMD, enquanto que os dados da empresa Araupel, da Estação Experimental de Rio Negro e da Floresta Nacional de Irati foram empregados para a validação do DMD. Essa validação permite verificar a aplicabilidade do DMD em diferentes fases de desenvolvimento da espécie.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

3.1.1 Campo anexo Cuartel Rio Victoria (INTA-Misiones)

A área de estudo pertence ao departamento Guarani e está localizada na Província de Misiones, Argentina, com coordenadas geográficas de 26° e 56' de latitude Sul e 54° e 24' de longitude Oeste, sendo a altitude de 534 m (CRECHI, 1996).

Segundo SOIL SURVEY STAFF (1987), esse experimento encontra-se instalado em um "kandiudult", caracterizado por um desenvolvimento de solo maior que dois metros, sequência de horizontes A-Bt-C, vermelho, livre de cascalhos e fragmentos grossos, permeabilidade moderada, bem drenado e relativamente insaturado.

O experimento foi instalado em 1971 com o objetivo de avaliar a densidade de povoamentos florestais de *Araucaria angustifolia* em uma área de 3 hectares. Foram utilizadas sementes comerciais, em parcelas de tamanho inicial de 20 m x 50 m, as quais foram dispostas em blocos ao acaso com 3 repetições.

Foram testadas 10 densidades de plantação inicial compreendidas entre 625 e 4.444 árvores por hectare (TABELA 1).

TABELA 1– TRATAMENTOS E DENSIDADES INICIAIS DO EXPERIMENTO LOCALIZADO NA PROVÍNCIA DE MISIONES, ARGENTINA

Tratamento	Espaçamento de plantio (m)	Densidade (arv/ha)
1	1,5 x 1,5	4444
2	1,5 x 2,0	3333
3	2,0 x 2,0	2500
4	2,0 x 2,5	2000
5	2,0 x 3,0	1666
6	2,5 x 2,5	1600
7	2,5 x 3,0	1333
8	3,0 x 3,0	1111
9	3,5 x 3,5	816
10	4,0 x 4,0	625

Os dados utilizados nesse estudo foram provenientes de inventários contínuos executados nas idades 6, 7, 8, 9, 11, 12 , 18, 22 e 24 anos.

3.1.2 Povoamento da Empresa Araupel

A Araupel dispunha de 14.406,01 ha (Dado de 10/03/11) de plantações florestais, distribuídas entre os plantios de *Araucaria angustifolia*, *Pinus taeda*, *P. elliotii* e *Eucalyptus grandis* e replantações. A área de plantio de Araucária da empresa corresponde a 3.382,12 ha. Nesta foram mensuradas 100 parcelas temporárias de 600 m² cada em floresta plantada com *Araucaria angustifolia* com 16 anos sem desbaste.

Esses dados foram utilizados para o teste de consistência do DMD, verificando assim o comportamento das parcelas ao longo do DMD.

3.1.3 Estação Experimental de Rio Negro

A fazenda de 127,59 ha situa-se no sul do Estado do Paraná, no Município de Rio Negro, próximo ao município de Mafra, no Estado de Santa Catarina, e apresenta florestas naturais, reflorestamentos, campos, pastagens e outros usos do solo.

A escolha das procedências de sementes de *Araucaria angustifolia* abrangeu a área de ocorrência natural da espécie: Guapiara – SP; Telêmaco Borba – PR; Pitanga – PR; Laranjeiras do Sul – PR; Imbituva - PR; Rio Negro - PR; União da Vitória - PR; Ponte Serrada – SC; Ponte Alta do Sul – SC; Vacaria – RS;

Cascavel – PR; Francisco Beltrão – PR (Baldanzi e Araujo, 1971). No entanto, segundo Santos (2006), a produtividade do povoamento não é influenciada pela variabilidade genética (procedências).

No presente estudo foram utilizados os dados de inventários executados em 2004 e 2011 no plantio de *Araucaria angustifolia* da Estação Experimental de Rio Negro. Entre esses anos foi realizada a retirada dos fustes mais finos das árvores bifurcadas, mantendo-as em pé com apenas 1 fuste.

Para o cálculo da área basal das árvores bifurcadas abaixo de 1,30 m foram aplicadas duas metodologias no ano de 2004. A primeira consiste em calcular a área basal dos dois fustes, somá-las, transformá-las em dap novamente e assim refazer o cálculo da área basal com o novo dap e tratá-la como um único fuste. A segunda metodologia consiste em tratar cada bifurcação como um indivíduo, calculando a área basal separadamente.

O plantio de *Araucaria angustifolia* foi realizado no ano de 1967, em 36 parcelas com 12 procedências utilizando-se o delineamento de blocos ao acaso com 3 repetições para cada procedência. Cada parcela possui espaçamento de 3,0 m x 1,90 m totalizando 91 árvores por parcela.

No experimento havia apenas duas qualidades de sítio, das quais o pior encontra-se nas parcelas 6, 7 e 8 e a qualidade superior nas demais. Na FIGURA 4 está representada a distribuição das parcelas com suas respectivas procedências na fazenda experimental.

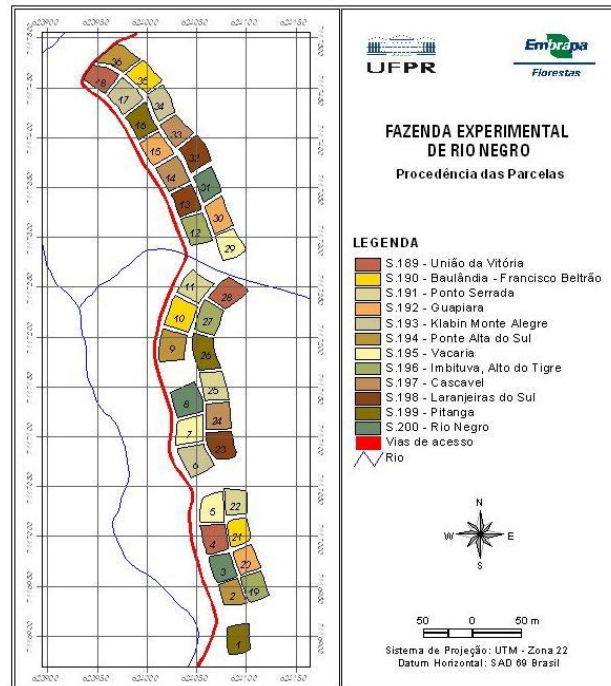


FIGURA 4 – DISTRIBUIÇÃO DAS PARCELAS DE *Araucaria angustifolia* NA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE RIO NEGRO.

FONTE: SANTOS (2006)

3.1.4 Floresta Nacional de Irati

A Floresta Nacional de Irati (FLONA de Irati), unidade de conservação administrada pelo Instituto Chico Mendes (ICMBIO), está localizada no segundo planalto paranaense, no âmbito dos municípios de Fernandes Pinheiro e Teixeira Soares, integrantes da microrregião Colonial de Irati (MAZZA et al., 2005).

Os dados foram coletados em 10 parcelas permanentes de 1 ha (100 m x 100 m) instaladas e medidas em 2005 e remeidas em 2008 e 2011 em um plantio de *Araucaria angustifolia* estabelecido em dois talhões implantados em 1943 e 1949, com uma alta densidade inicial de cerca de 4000 árvores/ha. Durante aproximadamente 15 anos foram realizadas capinas e posteriormente foram realizados desbastes.

As parcelas foram divididas em 4 subparcelas de 0,25 ha (50 m x 50 m), as quais foram ainda subdivididas em 5 faixas de controle de 0,05 ha (10 m x 50 m) a fim de facilitar a numeração e mapeamento das árvores.

3.2 MODELO DE DENSIDADE TESTADO

Existem muitos modelos de densidade que são testados confrontando o número de árvores por hectare e o diâmetro médio quadrático das mesmas, tais

como o de Reineke (1933) precursor dos modelos de densidade, Yoda et al. (1963), Zeide (1995) e Tang et al. (1994).

O modelo de Tang destaca-se dos demais pela fácil aplicabilidade após o ajuste, pois além do diâmetro médio quadrático como variável dependente apresenta a variável “densidade no tempo t ($N_{(t)}$)”, o que permite, a partir do ajuste dos dados com a máxima densidade (quando o povoamento está em autodesbaste), aplicá-lo em diferentes espaçamentos.

Modelo do autodesbaste de Tang et al. (1994):

$$\text{Ln}(N)_{(t)} = \text{Ln}(S_f) - \frac{1}{\gamma} \text{Ln} \left[(d(t)/d_0)^{\beta\gamma} + \delta \right] \quad (10)$$

onde: t é a idade do povoamento; β parâmetro da taxa máxima de autodesbaste de densidade completa; $N_{(t)}$ a densidade no tempo t (número de árvores por hectare); d(t) o diâmetro médio das árvores no tempo t (cm); S_f índice mínimo de densidade do povoamento, γ o índice de autodesbaste, e d_0 o diâmetro básico padrão (25 cm). A constante δ é dependente da integração dos valores iniciais da densidade do povoamento (N_1) e o diâmetro médio inicial (d_1), sendo obtida pela relação:

$$\delta = (S_f/N_1)^\gamma - (d_1/d_0)^{\beta\gamma} \quad (11)$$

3.3 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DO MODELO

O modelo foi avaliado pelo Índice de ajuste Schlaegel (IA), erro padrão da estimativa (S_{yx}) e erro padrão da estimativa em porcentagem ($S_{yx}\%$), além da análise gráfica de resíduos.

Como o modelo é logaritimizado foi calculado o Índice de ajuste Schlaegel (IA) a fim de permitir a comparação com o coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajust) de equações de diferentes naturezas. O IA é dado pela seguinte fórmula:

$$IA = 1 - \left(\frac{Sq_{\text{resíduo}}}{Sq_{\text{total}}} \right) \quad (12)$$

onde: $Sq_{\text{resíduo}}$ = soma dos quadrados dos resíduos; Sq_{total} = soma dos quadrados do total.

O erro padrão da estimativa é uma medida da dispersão média entre os valores observados e estimados pela equação de regressão e quanto menor o seu valor maior é a acurácia da equação. Portanto, na comparação entre equações,

aquela que apresentar o menor valor é considerada a melhor. O erro padrão da estimativa foi obtido pela equação:

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{(n - p)}} \quad (13)$$

onde: y_i = valor real de cada observação; \hat{y}_i = valor estimado de cada observação; p = número de coeficientes incluindo b_0 ; n = número de observações.

Posteriormente o erro padrão da estimativa foi transformado em unidades relativas, pela equação:

$$S_{yx}\% = \frac{S_{yx}}{\bar{y}} \cdot 100 \quad (14)$$

onde: S_{yx} = erro padrão da estimativa; \bar{y} = média aritmética real da variável dependente.

Foi necessário recalcular as estimativas para a variável que sofreu transformação logarítmica e teve suas estimativas sujeitas à discrepância logarítmica. Por isso antes do recálculo do erro padrão da estimativa, a discrepância logarítmica foi corrigida multiplicando o valor estimado de cada árvore pelo fator de correção e, só então feito o cálculo para obtenção do S_{yx} . Para tal foi utilizado o fator de correção de Meyer:

$$\text{Fator de Meyer} = e^{0,5 (S_{yx}^2)} \quad (15)$$

onde: $e = 2,718281828$; S_{yx} = erro padrão da estimativa.

A análise gráfica de resíduos também foi utilizada como forma complementar de avaliação dos modelos. Os resíduos foram calculados com a equação:

$$\text{Resíduo \%} = \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right) \cdot 100 \quad (16)$$

onde: y_i = valor real para cada observação; \hat{y}_i = valor estimado de cada observação.

O modelo foi testado na densidade 1,5 x 1,5 m para a construção do diagrama de manejo da densidade através do pacote SAS - Statistical Analysis System. E foi também ajustado para as densidades 1,5 x 2,0 m, 2,0 x 2,0 m; 2,0 x 2,5 m; 2,5 x 2,5 m; 2,5 x 3,0 m; 3,0 x 3,0 m, 3,5 x 3,5 m e 4,0 x 4,0 m afim de verificar o comportamento deste modelo em diferentes situações de densidade, através do mesmo *software* estatístico.

3.4 ELABORAÇÃO DO DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE

Para construir o DMD, foram utilizados os parâmetros encontrados no ajuste da equação com os dados de máxima densidade (espaçamento 1,5 x 1,5 m), pois essa equação representa o momento em que as árvores estão em máxima competitividade, ou seja, em autodesbaste.

Segundo Gezan et al. (2007), os dendrogramas são baseados na curva de área basal máxima e, em relação a esta, são calculados níveis de densidade por proporção.

A partir da equação de Tang cujos coeficientes foram calculados para as parcelas de maior densidade foram estimadas as densidades para diâmetros médios quadráticos entre 4 e 46 cm nos espaçamentos iniciais: 1,5 m²; 2,5 m²; 4,0 m²; 6,0 m² e 9,0 m². Para isso, foi modificado apenas as variáveis independentes número de árvores por hectare potencial e diâmetro médio quadrático no tempo t ($dg_{(t)}$), abrangendo assim florestas em diferentes estágios de desenvolvimento. Esses cálculos resultaram no gráfico do autodesbaste.

Com o mesmo modelo foram geradas as zonas de concorrência, baseadas na máxima densidade obtida nas estimativas do autodesbaste, ou seja, na densidade no espaçamento 1,5 m². A partir dessa densidade as curvas de concorrência foram geradas a 100 %, 55 %, 50 %, 45 %, 25 % e 12,5 % de densidade de ocupação de estocagem.

Segundo Reid (2004), até a zona de 12,5% o povoamento está com o sítio excessivamente exposto, entre 12,5 % e 25 % o crescimento é livre, entre 25 % e 50 % inicia-se a competição e entre 50 % e 100 % o povoamento está superestocado.

Porém, essas porcentagens podem variar de espécie para espécie, e por isso a construção de um gráfico expressando a densidade relativa e o incremento corrente do diâmetro deveria ser construído. No entanto, os dados do estudo não apresentaram tendências para a visualização do comportamento da espécie nas

diferentes densidades. Por isso foram adotadas as porcentagens utilizadas nas bibliografias estudadas.

Reid (2004) chegou a essas porcentagens em seu trabalho com *Acacia melanoxylon* plotando os valores da densidade relativa x incremento corrente do diâmetro nas idades de 14 e 15 anos em distintos espaçamentos. Cada espaçamento gerou um ponto, e unindo-os é gerada a curva de incremento, na qual é possível verificar o comportamento da espécie numa densidade relativa que varia entre 0 e 100 %.

O cálculo da densidade relativa foi obtida com a expressão:

$$DR = \frac{G}{dg^b} \quad (17)$$

onde: dg = diâmetro médio quadrático; G = área basal; b = coeficiente angular obtido na equação de Reineke com todos os dados.

O ajuste do modelo com dados da densidade superestocada é obtida a linha de máxima densidade média, com os dados distribuídos abaixo e acima desta (Schneider, 2008b). Essa linha deve ser alocada algebricamente acima da nuvem de pontos formando assim a linha de máxima densidade (Linha A).

O gráfico das zonas de concorrência foi gerado com as porcentagens 100, 55, 50, 45, 25 e 12,5 %. A linha A foi determinada em 100 %, representando a máxima densidade, linha B em 55 % determinando o início da mortalidade, linha C em 45 % representando a máxima produtividade, entre as linhas B e C a zona de manejo (50 %), linha D a 25 % representando o fechamento do dossel e ainda a linha E a 12,5 %, onde entre a linha E e D o crescimento é livre.

Para representar as linhas de manejo no DMD foram determinados Índices de Densidade do Povoamento. Esses índices servem como guias para indicar em qual deles deverá ocorrer a intervenção (desbaste).

Para a determinação do (IDP) foi definido o diâmetro padrão de 25 cm utilizando um intervalo de IDP de 200, tal como foi utilizado por Schneider (2008b), gerando Índices de Densidade do Povoamento de 1400, 1200, 1000, 800, 400 e 200.

A área basal média por hectare em função do diâmetro médio quadrático (\overline{dg}) e do número de árvores por hectare (N), em cada IDP, foi calculada por meio da seguinte equação:

$$\bar{G} = \frac{\pi \cdot \overline{dg}^2}{4} \cdot N \quad (18)$$

Obtidos os valores de IDP com suas respectivas áreas basais; o DMD com variável dependente área basal foi gerado.

Para obter o diagrama de manejo da densidade utilizando o volume como variável dependente, foi selecionado o melhor entre 5 modelos ajustados para estimar o volume médio das árvores, como recomendado por Penner et al. (2004) e utilizado também por Schneider (2008b).

$$\ln \bar{v} = b_0 + b_1 \cdot \ln N \quad (19)$$

$$\ln \bar{v} = b_0 + b_1 \cdot \ln N + b_2 \cdot \ln d \quad (20)$$

$$\ln \bar{v} = b_0 + b_1 \cdot \ln N + b_2 \cdot \ln G \quad (21)$$

$$\bar{v} = b_0 + b_1 \cdot (h \cdot d)^{b_2} \quad (22)$$

$$\ln \bar{v} = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln h \quad (23)$$

onde: \bar{v} = volume médio das árvores (m^3); d = diâmetro à 1,30 m; h = altura; N = o número de árvores (ha^{-1}); G = área basal (m^2/ha); b_0 , b_1 e b_2 os parâmetros.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ESTATÍSTICAS DO MODELO

A relação entre o número de árvores por hectare e o diâmetro médio quadrático apresentou tendência linear (FIGURA 5) numa escala de duplo logaritmo, assim como preconizado por Reineke (1933) e em outros trabalhos como Reid (2004), Schneider (2008b) e Thomas (2009). Segundo Reineke (1933), em povoamento com densidade completa a relação entre o diâmetro médio quadrático das árvores (dg) e o número de árvores por hectare (N) é linear numa escala logarítmica.

Isso significa que o número de árvores com o aumento do diâmetro aumenta-se a competição por espaço gerando a mortalidade das árvores (redução de indivíduos).

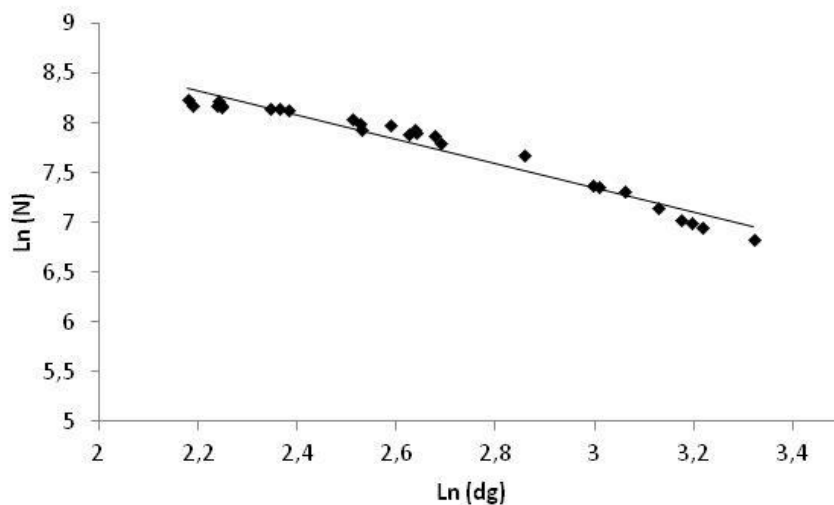


FIGURA 5– NÚMERO DE ÁRVORES POR HECTARE OBSERVADO (LN (N)) EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO MÉDIO QUADRÁTICO (LN (DG)); AMBOS EM ESCALA LOGARÍTMICA, DO POVOAMENTO DE *Araucaria angustifolia* EM MISIONES (ARGENTINA).

O ajuste da equação de Tang na densidade 1,5 x 1,5 m resultou em um coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajust) de 99,30 % e erro padrão da estimativa (Syx%), 3,12 %. Nos tratamentos de maior espaçamento, 1,5 x 2,0 m; 2,0 x 2,0 m; 2,0 x 2,5 m; 2,5 x 2,5 m; 2,0 x 3,0 m; 2,5 x 3,0 m e 3,0 x 3,0 m as estatísticas de ajuste e precisão variaram com o espaçamento, tendo apresentado

de forma geral, menor erro percentual (Syx%) e melhor ajuste (IA%) com o aumento do espaçamento. A redução do coeficiente de ajuste era esperada e decorre de menor inclinação da linha que descreve a redução do número de árvores com o aumento do diâmetro encontrada em espaçamentos maiores.

Na TABELA 2, na qual constam os parâmetros e as estatísticas por espaçamento, é possível verificar que no espaçamento mais denso, ou seja, quando o povoamento está em autodesbaste, o modelo apresenta melhor ajuste e precisão. Também é possível verificar que o ajuste não convergiu no espaçamento 4,0 x 4,0 m, isso é explicado pelo fato de haver pouca mortalidade ao longo dos anos nessa densidade, fazendo com que o modelo de autodesbaste não se ajuste, fato este que também explica o pior comportamento nos espaçamentos 2,5 x 3,0 m, 3,0 x 3,0 m e 3,5 x 3,5 m.

TABELA 2– PARÂMETROS E RESULTADOS ESTATÍSTICOS DO MODELO ESTRATIFICADO POR ESPAÇAMENTO.

Autor	Modelo	Espaçamento	IA%	Syx	Syx%
Tang	$\text{Ln}(N)_{(t)} = \text{Ln}(1145,32) - \frac{1}{1,7153} \text{Ln}[(d(t)/d_0)^{2,1679,1,7153} + \delta]$	1,5 x 1,5	99,30	81,61	3,12
	$\text{Ln}(N)_{(t)} = \text{Ln}(5,13\text{E}0,6) - \frac{1}{0,1665} \text{Ln}[(d(t)/d_0)^{5,6946,0,1665} + \delta]$	1,5 x 2,0	69,91	335,40	16,61
	$\text{Ln}(N)_{(t)} = \text{Ln}(6,37\text{E}05) - \frac{1}{0,1570} \text{Ln}[(d(t)/d_0)^{2,6176,0,1570} + \delta]$	2,0 x 2,0	53,88	294,62	17,11
	$\text{Ln}(N)_{(t)} = \text{Ln}(1130,356) - \frac{1}{471,2886} \text{Ln}[(d(t)/d_0)^{0,6876,471,2886} + \delta]$	2,0 X 2,5	73,92	157,98	10,47
	$\text{Ln}(N)_{(t)} = \text{Ln}(1047,0) - \frac{1}{395,0296} \text{Ln}[(d(t)/d_0)^{0,610,395,0296} + \delta]$	2,5 x 2,5	77,88	112,44	8,52
	$\text{Ln}(N)_{(t)} = \text{Ln}(1003,509) - \frac{1}{86,4586} \text{Ln}[(d(t)/d_0)^{0,6142,86,4586} + \delta]$	2,0 x 3,0	72,15	127,20	10,08
	$\text{Ln}(N)_{(t)} = \text{Ln}(956,3066) - \frac{1}{375,9071} \text{Ln}[(d(t)/d_0)^{0,4325,375,9071} + \delta]$	2,5 x 3,0	52,93	110,42	10,06
	$\text{Ln}(N)_{(t)} = \text{Ln}(882,0) - \frac{1}{1388,61} \text{Ln}[(d(t)/d_0)^{0,250,1388,61} + \delta]$	3,0 x 3,0	53,47	62,33	6,58
	$\text{Ln}(N)_{(t)} = \text{Ln}(618,0) - \frac{1}{995,363} \text{Ln}[(d(t)/d_0)^{0,210,995,363} + \delta]$	3,5 x 3,5	35,44	56,53	8,73
	--	4,0 X 4,0	nc	nc	nc

* nc = não convergiu

A análise gráfica dos resíduos (FIGURA 6) demonstra que o modelo possui uma baixa tendência em super ou subestimar o número de árvores por hectare no espaçamento 1,5 x 1,5 m quando comparado aos outros espaçamentos, tornando o modelo ajustado para esse espaçamento ideal para a construção do diagrama de manejo da densidade.

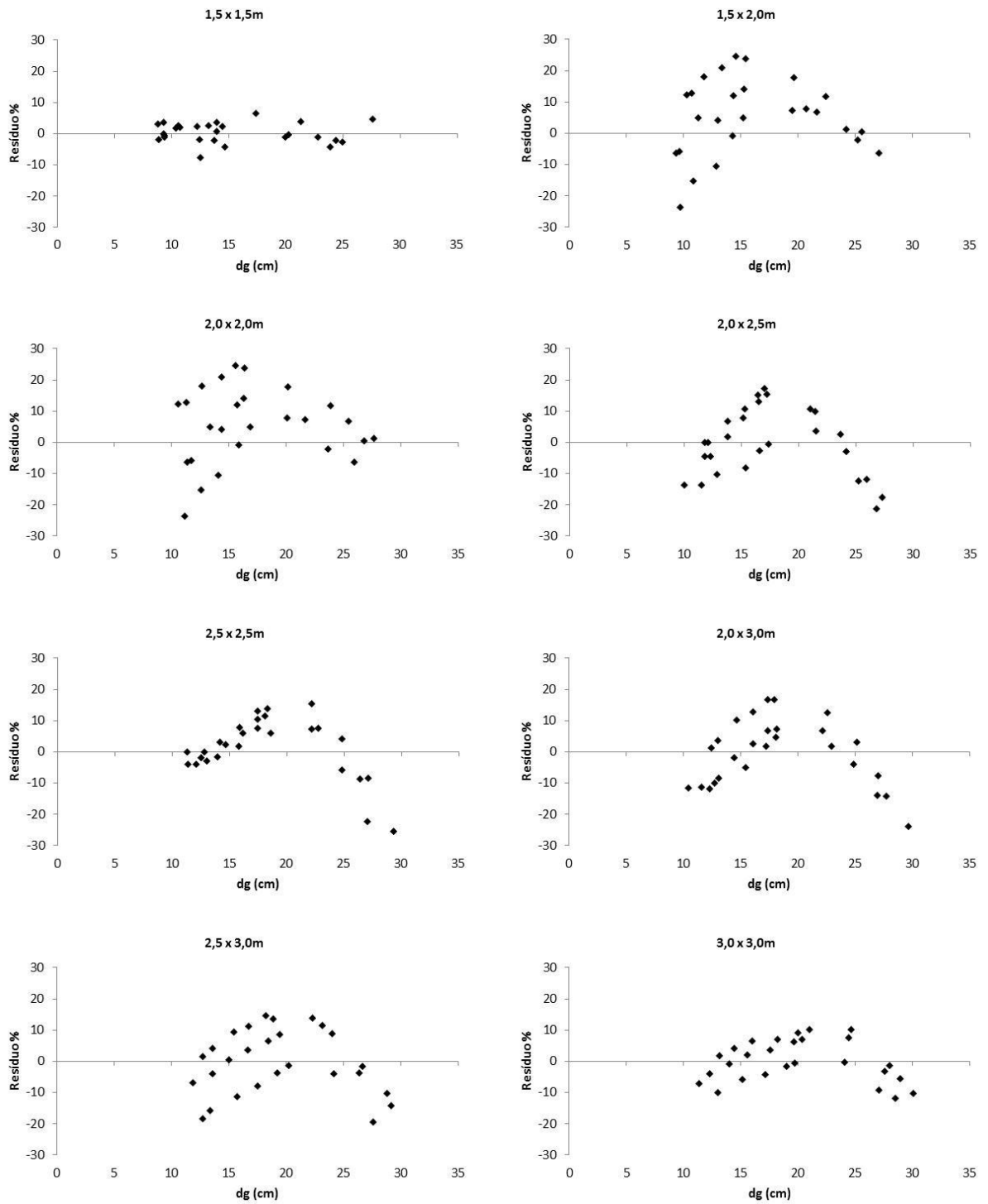


FIGURA 6– GRÁFICO DE RESÍDUOS DO MODELO TESTADO POR ESPAÇAMENTOS

Continua

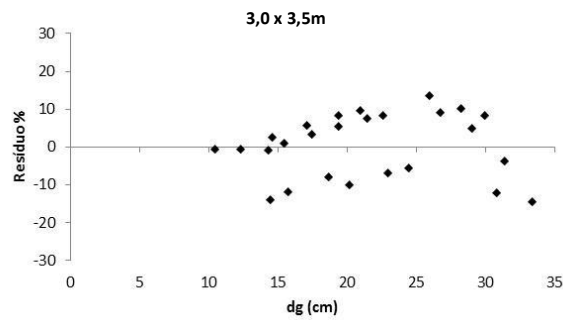


FIGURA 6– GRÁFICO DE RESÍDUOS DO MODELO TESTADO POR ESPAÇAMENTOS

conclusão

4.2 DETERMINAÇÃO DO AUTODESBASTE

Com o modelo de Tang foi determinada a densidade das árvores em função do diâmetro médio quadrático. Segundo Schneider (2008b), com essa equação obtém-se a máxima capacidade de tolerância fisiológica das árvores para se manter sobreviventes na população, o que indica que a partir desta condição as árvores começam a não suportar a concorrência por água, luz, nutrientes e espaço e acabam morrendo. Foram estimadas as mortalidade para as densidades 1,5 x 1,0 (1,5 m²), 2,5 x 1,0 (2,5 m²), 2,0 x 2,0 (4 m²), 2,0 x 3,0 (6 m²) e 3,0 x 3,0 (9 m²).

Na FIGURA 7 as estimativas do número de árvores por hectare em função do dg (cm), calculadas com a função de Tang, descrevem bem os dados observados dos levantados nos diferentes espaçamentos. Conforme representado na FIGURA 7 com as estimativas plotadas sobre o número de árvores observado por hectare simbolizados por pontos vermelhos, é possível verificar a existência de mortalidade inicial no povoamento de *Araucaria angustifolia*, cujo o ponto de estabelecimento se alterou com a densidade de plantas.

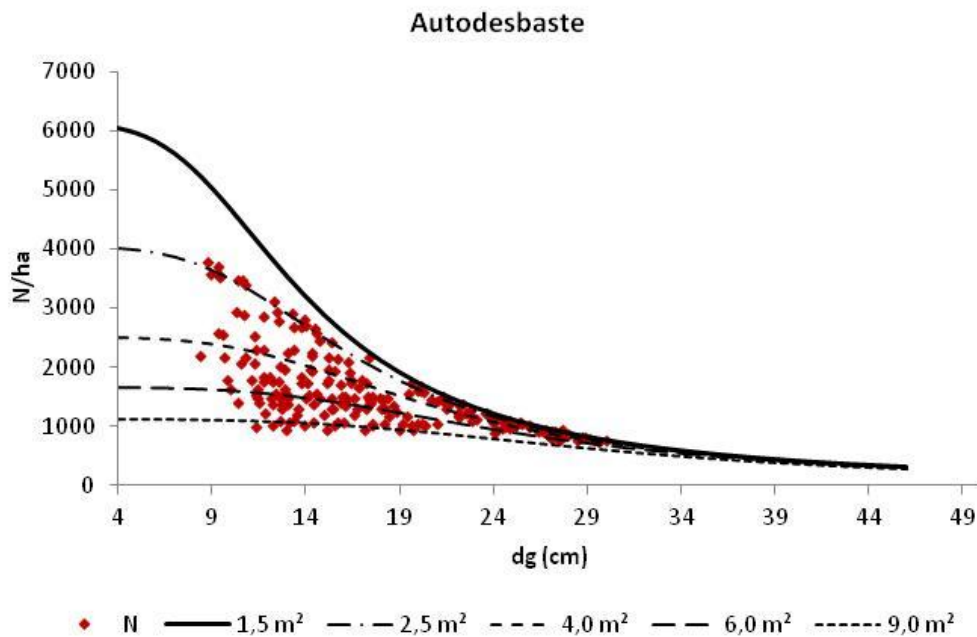


FIGURA 7– AUTODESBASTE PARA O POVOAMENTO DE *Araucaria angustifolia* EM MISIONES-ARGENTINA.

Na FIGURA 7 confirma-se que a mortalidade ocorre antes em espaçamentos mais adensados do que nos espaçamentos mais amplos, devido ao menor número de árvores por hectare e, conseqüentemente, à menor competição. Com o gráfico de autodesbaste foi possível encontrar a linha A do DMD, a qual é representada pelo espaçamento 1,5 m², momento que o povoamento atinge máxima densidade. A partir dessa linha são determinadas as linhas B e C, sendo que entre ambas deve efetuar-se o desbaste. A determinação das porcentagens em que as linhas consecutivas ocorrem, considerando que a linha A representa 100 %, baseou-se em alguns trabalhos como os de Sauders e Puettmann (2000), Harrington (1977) e Schneider (2008b), que recomendam, respectivamente, 55 % e 45 % para o início da mortalidade quando a produção começa a cair (linha B), e máxima produtividade (linha C).

Na FIGURA 8 estão representadas as zonas de concorrência para a espécie em estudo. Florestas plantadas localizadas próximas à linha A estão em alta competitividade, e o intervalo compreendido entre as linhas B e C (55 % e 45 % respectivamente) indica o momento para o desbaste.

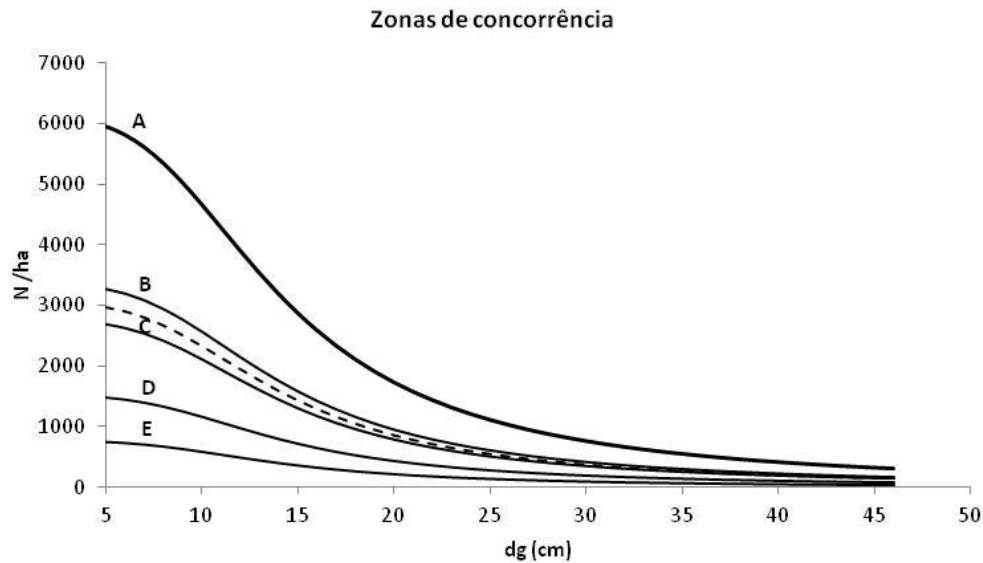


FIGURA 8– ZONAS DE CONCORRÊNCIA PARA POVOAMENTOS DE *Araucaria angustifolia*.

4.3 CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE

Para representar as linhas de manejo no diagrama de manejo da densidade foram determinados índices de densidade do povoamento. Para a determinação desses índices foi definido o diâmetro padrão de 25 cm. Como exemplo, um valor de IDP 1400 ocorre quando o povoamento alcançar um diâmetro de 25 cm possuindo 1400 árvores por hectare, e um valor de IDP 1200 ocorre quando o povoamento alcançar um diâmetro de 25 cm com 1200 árvores por hectare, e assim por diante para os demais índices. Esses valores de IDP servem como guias para indicar em qual deles deverá ocorrer a intervenção (desbaste).

No presente estudo foram calculados 5 valores de IDP (1400, 1000, 600, 400 e 200) e dois intermediários (1200 e 800) (FIGURA 9) para diâmetros médios quadráticos entre 10 e 46 cm, utilizando o modelo de Tang. Esse amplo número de valores de IDP foi gerado devido à grande variabilidade de indivíduos que o povoamento de *Araucaria angustifolia* de Misiones possui, de 448 a 4.444 indivíduos por hectare.

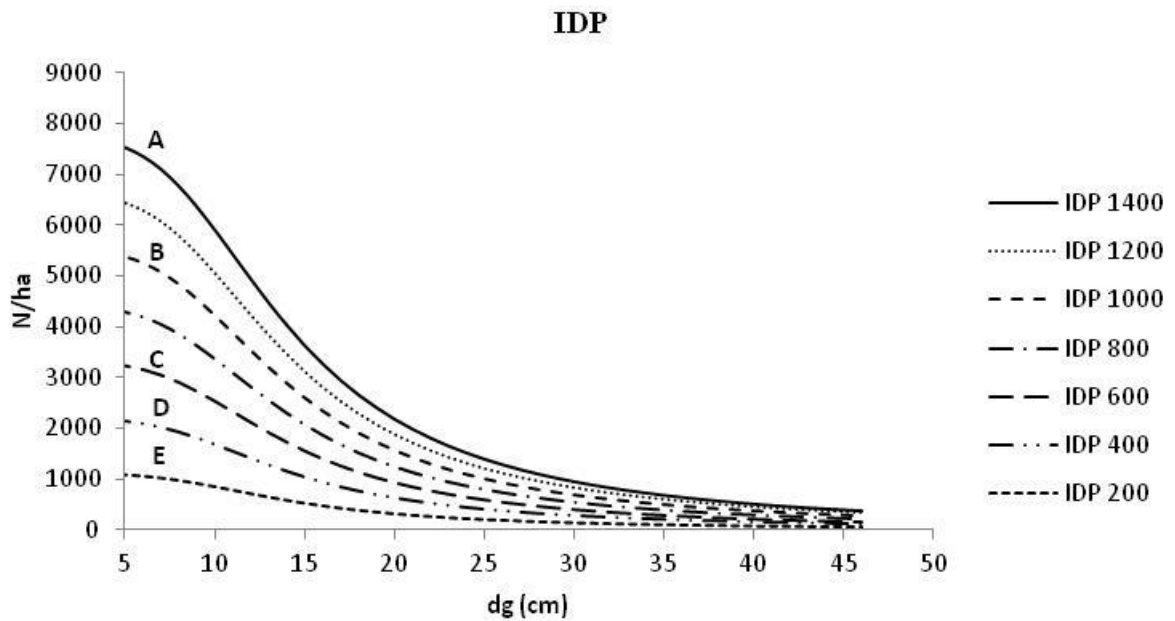


Figura 9– ÍNDICES DE DENSIDADE DO POVOAMENTO PARA POVOAMENTOS de *Araucaria angustifolia* EM MISIONES – ARGENTINA.

Para cada IDP foi calculada sua respectiva área basal, dando origem ao diagrama de manejo da densidade para a variável área basal (m^2/ha) (FIGURA 10). O diagrama é construído com duas variáveis de entrada sendo, no eixo X do plano cartesiano, o número de árvores por hectare (N), e no eixo Y a área basal por hectare (G). O diâmetro da árvore de área basal média (dg) é representado pelas linhas retas. As linhas curvas pontilhadas transversalmente representam o Índice de Densidade do Povoamento (IDP).

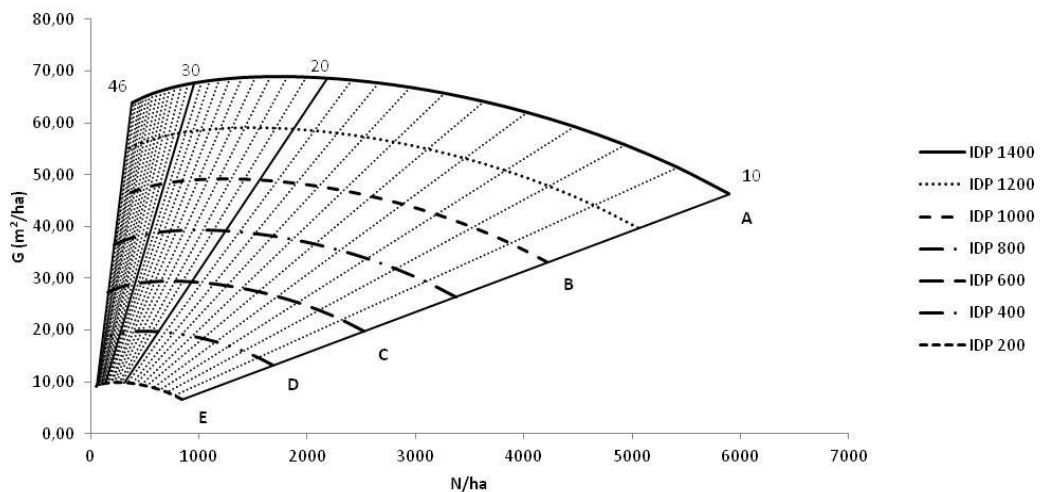


FIGURA 10– DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE COM VARIÁVEL ÁREA BASAL (M^2/HA) PARA POVOAMENTOS DE *Araucaria angustifolia*.

Com o DMD gerado, é possível analisar a correspondência de cada IDP com sua área basal, número de árvores por hectare e diâmetro médio quadrático. O IDP 200 ocorre quando o povoamento apresentar valores próximos a 10 m²/ha de área basal, podendo haver entre 55 e 842 árvores por hectare com valores de dg variando entre 10 e 46 cm. Já no IDP 400 os valores de área basal são próximos a 20 m²/ha, com variação entre 110 à 1.684 indivíduos por hectare. Com o auxílio da TABELA 3 é possível analisar mais precisamente os resultados e premissas.

TABELA 3— ÍNDICES DE DENSIDADE DO POVOAMENTO COM RESPECTIVAS ÁREAS BASAIS E DIÂMETROS.

dg (cm)	N/ha	IDP							Área basal (m ² /ha)						
		IDP 1400	IDP 1200	IDP 1000	IDP 800	IDP 600	IDP 400	IDP 200	G 1400	G 1200	G 1000	G 800	G 600	G 400	G 200
10	4671	5895	5053	4211	3369	2527	1684	842	46,30	39,69	33,07	26,46	19,84	13,23	6,61
11	4290	5415	4641	3868	3094	2321	1547	774	51,46	44,11	36,76	29,40	22,05	14,70	7,35
12	3907	4932	4227	3523	2818	2114	1409	705	55,78	47,81	39,84	31,87	23,90	15,94	7,97
13	3538	4466	3828	3190	2552	1914	1276	638	59,27	50,81	42,34	33,87	25,40	16,94	8,47
14	3192	4029	3454	2878	2302	1727	1151	576	62,02	53,16	44,30	35,44	26,58	17,72	8,86
15	2875	3629	3111	2592	2074	1555	1037	518	64,13	54,97	45,81	36,65	27,48	18,32	9,16
16	2589	3268	2801	2334	1868	1401	934	467	65,71	56,32	46,94	37,55	28,16	18,77	9,39
17	2334	2946	2525	2104	1683	1263	842	421	66,87	57,32	47,76	38,21	28,66	19,11	9,55
18	2107	2660	2280	1900	1520	1140	760	380	67,69	58,02	48,35	38,68	29,01	19,34	9,67
19	1907	2407	2063	1719	1376	1032	688	344	68,25	58,50	48,75	39,00	29,25	19,50	9,75
20	1730	2184	1872	1560	1248	936	624	312	68,62	58,81	49,01	39,21	29,41	19,60	9,80
21	1574	1987	1703	1419	1135	852	568	284	68,82	58,99	49,16	39,33	29,50	19,66	9,83
22	1436	1813	1554	1295	1036	777	518	259	68,91	59,07	49,22	39,38	29,53	19,69	9,84
23	1314	1659	1422	1185	948	711	474	237	68,91	59,07	49,22	39,38	29,53	19,69	9,84
24	1206	1522	1304	1087	870	652	435	217	68,84	59,01	49,17	39,34	29,50	19,67	9,83
25	1109	1400	1200	1000	800	600	400	200	68,72	58,90	49,09	39,27	29,45	19,63	9,82
26	1023	1291	1107	922	738	553	369	184	68,56	58,77	48,97	39,18	29,38	19,59	9,79
27	946	1194	1024	853	682	512	341	171	68,37	58,61	48,84	39,07	29,30	19,54	9,77
28	877	1107	949	791	633	474	316	158	68,16	58,42	48,69	38,95	29,21	19,47	9,74
29	815	1029	882	735	588	441	294	147	67,93	58,23	48,52	38,82	29,11	19,41	9,70
30	759	958	821	684	547	410	274	137	67,70	58,03	48,35	38,68	29,01	19,34	9,67
31	708	894	766	638	511	383	255	128	67,45	57,82	48,18	38,54	28,91	19,27	9,64
32	662	836	716	597	477	358	239	119	67,20	57,60	48,00	38,40	28,80	19,20	9,60
33	620	783	671	559	447	335	224	112	66,95	57,38	47,82	38,26	28,69	19,13	9,56
34	582	735	630	525	420	315	210	105	66,69	57,17	47,64	38,11	28,58	19,06	9,53
35	547	691	592	493	395	296	197	99	66,44	56,95	47,46	37,97	28,47	18,98	9,49
36	515	650	557	464	372	279	186	93	66,19	56,73	47,28	37,82	28,37	18,91	9,46
37	486	613	526	438	350	263	175	88	65,94	56,52	47,10	37,68	28,26	18,84	9,42
38	459	579	496	414	331	248	165	83	65,69	56,31	46,92	37,54	28,15	18,77	9,38
39	434	548	470	391	313	235	157	78	65,45	56,10	46,75	37,40	28,05	18,70	9,35
40	411	519	445	371	297	222	148	74	65,20	55,89	46,57	37,26	27,94	18,63	9,31
41	390	492	422	351	281	211	141	70	64,97	55,69	46,40	37,12	27,84	18,56	9,28
42	370	467	400	334	267	200	133	67	64,73	55,49	46,24	36,99	27,74	18,50	9,25
43	352	444	381	317	254	190	127	63	64,50	55,29	46,07	36,86	27,64	18,43	9,21
44	335	423	362	302	242	181	121	60	64,28	55,10	45,91	36,73	27,55	18,37	9,18
45	319	403	345	288	230	173	115	58	64,06	54,91	45,75	36,60	27,45	18,30	9,15
46	304	384	329	274	220	165	110	55	63,84	54,72	45,60	36,48	27,36	18,24	9,12

Na TABELA 3 nota-se que o povoamento de *Araucaria angustifolia* pode alcançar, no máximo, 5.895 indivíduos por hectare (IDP 1400), com dg de 10 cm e área basal de 46,3 m²/ha, valor considerado baixo em níveis de produção quando comparado com os diâmetros 22 e 23 cm no mesmo IDP, os quais apresentam com densidades entre 1.436 à 1.314 árvores por hectare. Também é notável nesse IDP a alta mortalidade quando existem muitos indivíduos, como no caso de dg 10 cm, no aumento de 1 cm houve mortalidade de 481 indivíduos/ha, 2 cm 984 indivíduos/ha, o que é mais suave nos menores valores de IDP entre 200 e 400.

A tabela também permitiu confirmar o número de árvores por hectare quando a floresta plantada apresentar 25 cm, correspondendo a cada IDP.

Para Thomas (2009), a faixa de manejo inicia quando o povoamento atinge o IDP 600 e termina quando atinge o limite superior com IDP 840. No entanto, se o objetivo for produzir madeira mais densa, com incremento limitado e regular, ou madeira estrutural, o povoamento deve ser conduzido em densidade mais elevada.

Autores como Chapman (1953) e Schultz (1997) recomendam, para povoamentos adultos de *Pinus taeda*, reduzir a área basal quando o povoamento alcança entre 27 e 28 m²/ha a um IDP de 350, o que equivale a uma área basal de 18 m²/ha. Já Dean et al. (1993), recomendam uma intervenção quando o IDP se aproxima de 550 rebaixando-o a um IDP de 330.

No presente estudo o povoamento de *Araucaria angustifolia* alcança os valores de 27 e 28 m²/ha no IDP 600, ou seja, no momento em que deve ser desbastado, e 18 m²/ha no IDP 400 (área basal que o povoamento deve ter após o desbaste). Isso significa que a Linha A encontra-se no IDP 1400, a linha B no IDP 1000, a linha C no IDP 600, a linha D no IDP 400 e a linha E no IDP 200, onde o IDP 1200 e 800 foram mantidos como linhas intermediárias para facilitar a visualização.

Segundo Thomas (2009) o povoamento encontra-se em ocupação total, e com densidades manejáveis, entre as linhas B e E. Acima da linha B o povoamento se encontra em autodesbaste, ocorrendo a mortalidade de indivíduos dominados e, próximo da linha A, o povoamento apresenta mortalidade contínua, inclusive de indivíduos intermediários. O mesmo autor cita que acima da linha B, nenhum tipo de manejo é indicado por ocorrer perda de crescimento por competição excessiva. Abaixo da linha E, o povoamento encontra-se em densidade excessivamente baixa, de modo que as árvores, mesmo estando em crescimento livre, não possuem copas

capazes de ocupar todo o espaço. Densidades tão baixas não são de interesse por desperdiçar a capacidade de sítio.

Para verificar a necessidade de desbaste no povoamento oriundo de Misiones na Argentina, os dados foram plotados no diagrama, estratificados por espaçamento e idades, identificadas por cores (FIGURA 11).

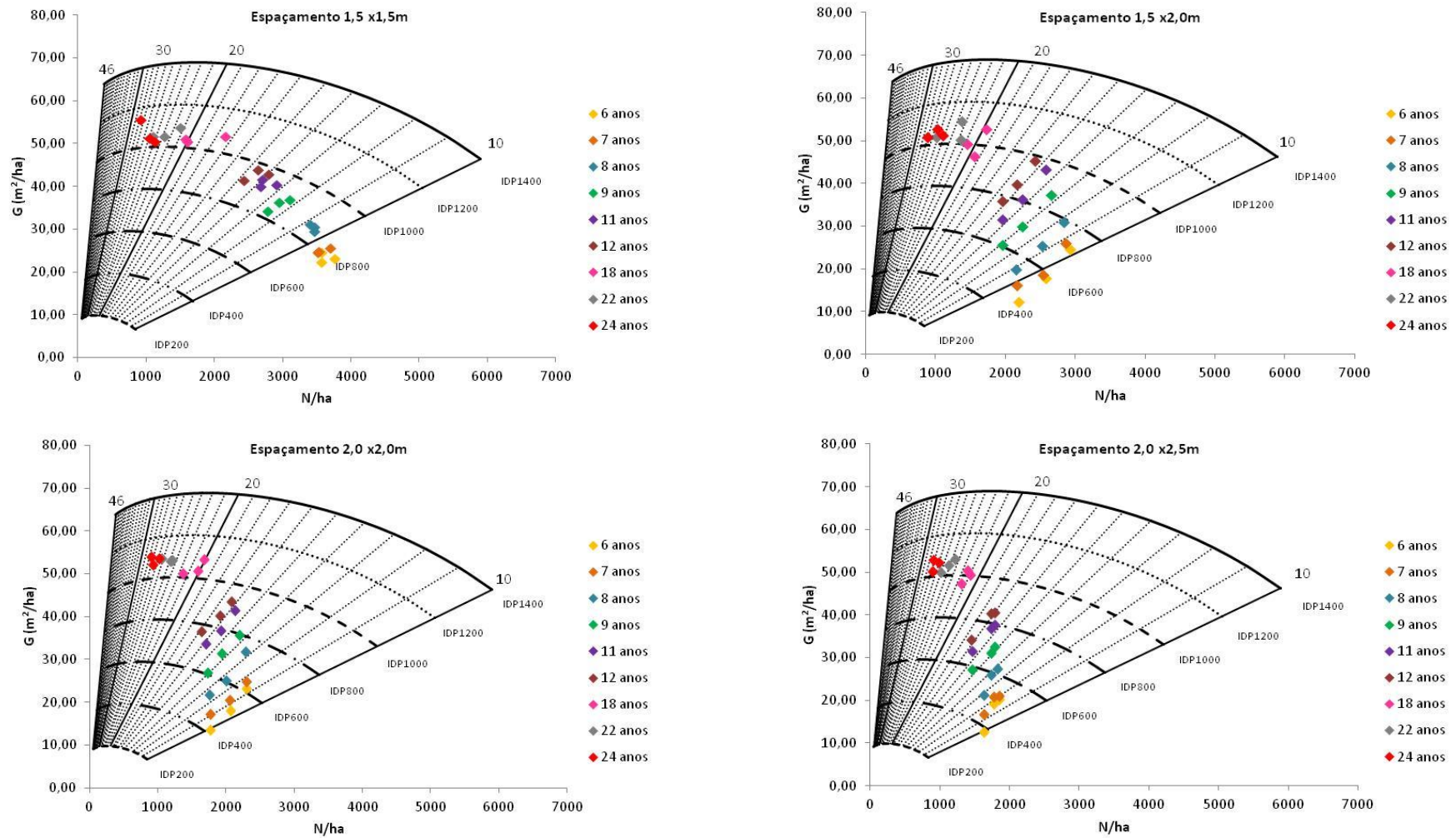


FIGURA 11– VALIDAÇÃO DOS DADOS DE *Araucaria angustifolia* PROVENIENTES DE MISIONES NA ARGENTINA NO DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE DE ÁREA BASAL.

continua

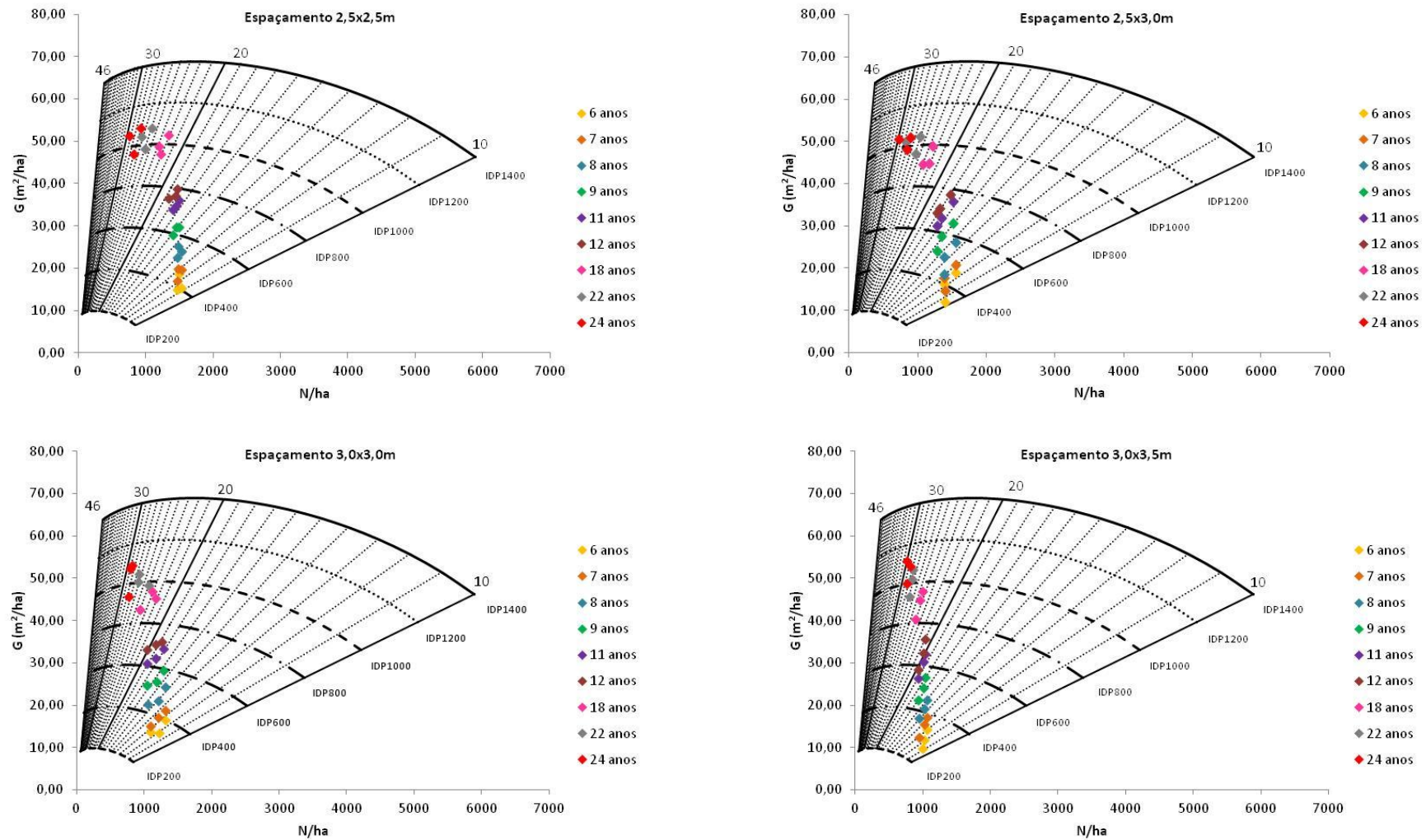


FIGURA 11– VALIDAÇÃO DOS DADOS DE *Araucaria angustifolia* PROVENIENTES DE MISIONES NA ARGENTINA NO DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE DE ÁREA BASAL.

continuação

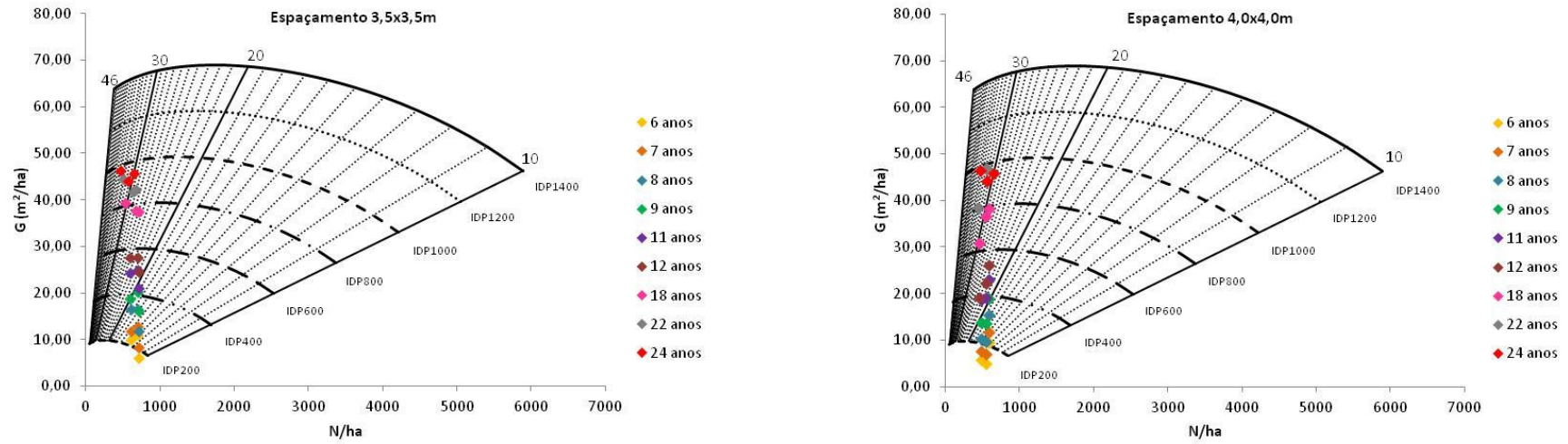


FIGURA 11– VALIDAÇÃO DOS DADOS DE *Araucaria angustifolia* PROVENIENTES DE MISIONES NA ARGENTINA NO DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE DE ÁREA BASAL.

conclusão

Segundo Schneider (2008b), numa condição de manejo sem distúrbios, portanto, sem desbaste, o crescimento em diâmetro e a taxa de autodesbaste estão relacionados ao crescimento da área basal do povoamento.

Seguindo a recomendação de Chapman (1953) e Schultz (1997), ao desenvolver o diagrama para a região de Misiones, Argentina, no espaçamento mais denso de 1,5 x 1,5 m, a primeira intervenção já deveria ter ocorrido antes mesmo de atingir a idade de 6 anos, porque a área basal do referido povoamento já ultrapassou o recomendado. No povoamento de araucária de Misiones, nesse espaçamento aos 6 anos já existe uma área basal bastante alta devido ao grande número de indivíduos, porém com pequenos diâmetros, havendo pouca evolução em incremento de área basal até os 24 anos. Isso é percebido quando comparado com os espaçamentos mais amplos, em que a amplitude da nuvem de pontos entre as idades 6 e 24 anos é maior. Além da amplitude, a inclinação da nuvem de pontos deve ser observada, pois está associada à mortalidade dos indivíduos, sendo que, quanto maior o espaçamento, maior é o ângulo de inclinação dos pontos, evidenciando o menor índice de mortalidade.

Ao avaliar o espaçamento 1,5 x 2,0 m o desbaste deveria ter sido realizado entre 6 e 7 anos, visto que em algumas das repetições já foi ultrapassado o índice de densidade do povoamento 600. O desbaste nesta densidade inicial é indicado numa idade mais avançada, quando comparado ao espaçamento 1,5 x 1,5 m, visto que existe um número reduzido de indivíduos.

Quando analisados os espaçamentos 2,0 x 2,0 m e 2,0 x 2,5 m, a primeira intervenção poderia ter sido realizada aos 8 anos, já que os referidos espaçamentos ainda eram densos, não permitindo um incremento significativo em diâmetro. É possível observar que, devido à competição, o índice de mortalidade entre 8 e 9 anos é alto como pode ser visto pela distância entre os pontos no DMD.

Já nos espaçamentos 3,0 x 3,0 m e 3,0 x 3,5 m, o desbaste poderia ter sido aplicado logo após completar os 9 anos de idade, porque a floresta plantada nessa idade estava perto de atingir a área basal máxima recomendada (IDP 600) por Chapman (1953) e Schultz (1997). Nessas densidades iniciais, onde há mais espaço para o desenvolvimento das árvores, ou seja, menor competição, as árvores apresentam maiores diâmetros nessa idade (9 anos) quando comparado aos espaçamentos anteriores. A baixa densidade inicial gera uma baixa mortalidade dos indivíduos, caracterizada pela verticalidade dos pontos com o passar dos anos.

Nos maiores espaçamentos 3,5 x 3,5 m e 4,0 x 4,0 m o índice de mortalidade é baixo como pode ser observado entre a distância entre os pontos, e os diâmetros aos 6 anos são maiores que nos demais espaçamentos avaliados, devido à maior disponibilidade de luz, espaço e nutrientes por indivíduo. Assim, apesar das árvores possuírem alto diâmetro médio quadrático, o baixo número inicial de indivíduos influencia no alcance da área basal recomendada para efetuar o desbaste.

Nos espaçamentos 3,0 x 3,0 m e 3,0 x 3,5 m por exemplo, aos 9 anos, momento em que o desbaste deve ser executado, a floresta apresenta um diâmetro médio quadrático muito maior do que na mesma idade em povoamentos com espaçamento inicial mais adensado e, conseqüentemente, também apresenta maior dg nas idades anteriores. Assim, a madeira oriunda de desbaste terá maior valor comercial em espaçamentos mais amplos do que nos mais densos.

O diagrama de manejo da densidade também foi desenvolvido para a variável dependente volume a partir da escolha do melhor modelo para estimativa de volume. Na TABELA 4 são apresentados as equações com seus respectivos parâmetros e estatísticas.

Tabela 4– EQUAÇÕES DE ESTIMATIVA DE VOLUME PARA CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE COM SUAS RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS.

Equação	Modelo	IA%	Syx	Syx%
1	$\ln \bar{v} = 9,9868 - 0,6311 \cdot \ln N$	17,65	129,89	50,71
2	$\ln \bar{v} = -9,6584 + 1,0040 \cdot \ln N + 2,8030 \cdot \ln d$	98,04	20,71	7,84
3	$\ln \bar{v} = 3,7277 - 0,4327 \cdot \ln N + 1,4039 \cdot \ln G$	98,44	17,94	7,00
4	$\bar{v} = -208,6475 + 32,9485 \cdot (h \cdot d)^{0,5024}$	93,62	36,24	14,15
5	$\ln \bar{v} = 0,5731 - 0,4535 \cdot \ln d + 2,4683 \cdot \ln h$	95,46	30,55	11,93

Com exceção da equação 1, todas os demais equações apresentaram boas estatísticas para a estimativa de volume, com IA variando entre 95,71 % e 98,44 % e Syx% entre 7,00 % e 14,15 %. Entre os 5 modelos testados, os modelos 2 e 3 apresentaram as melhores estatísticas, e também a melhor distribuição de resíduos (FIGURA 12).

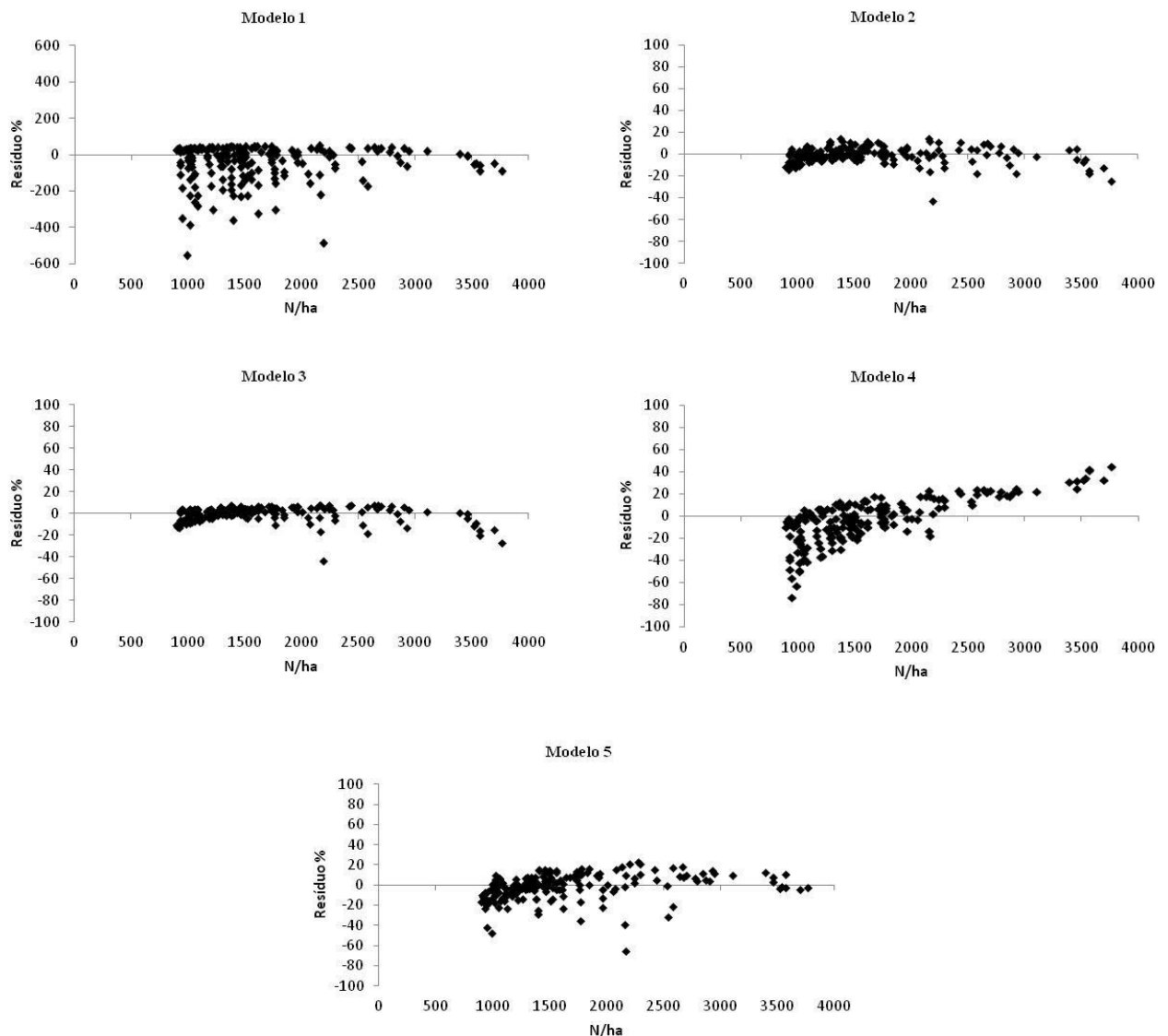


FIGURA 12– GRÁFICOS DE DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS PARA ESTIMATIVA DE VOLUME COM OS MODELOS 1, 2, 3, 4 E 5.

Na equação 1 foi utilizada uma escala diferente ($\pm 600\%$) das demais equações ($\pm 100\%$) para representar as altas subestimativas e superestimativas. As equações 2 e 3 comprovaram sua superioridade frente aos demais por meio da proximidade das dispersões à linha do eixo X. Já a equação 4 apresentou subestimativas de volume para menores números de árvores e superestimativas para altos números de árvores, e o modelo 5 a mesma tendência, porém em menores escalas que o anterior.

Por meio da análise das estatísticas e dos gráficos de dispersão de resíduos, a equação 3 foi a selecionada para a construção do DMD com variável

dependente volume. Na FIGURA 13 é apresentado o diagrama de manejo da densidade para volume.

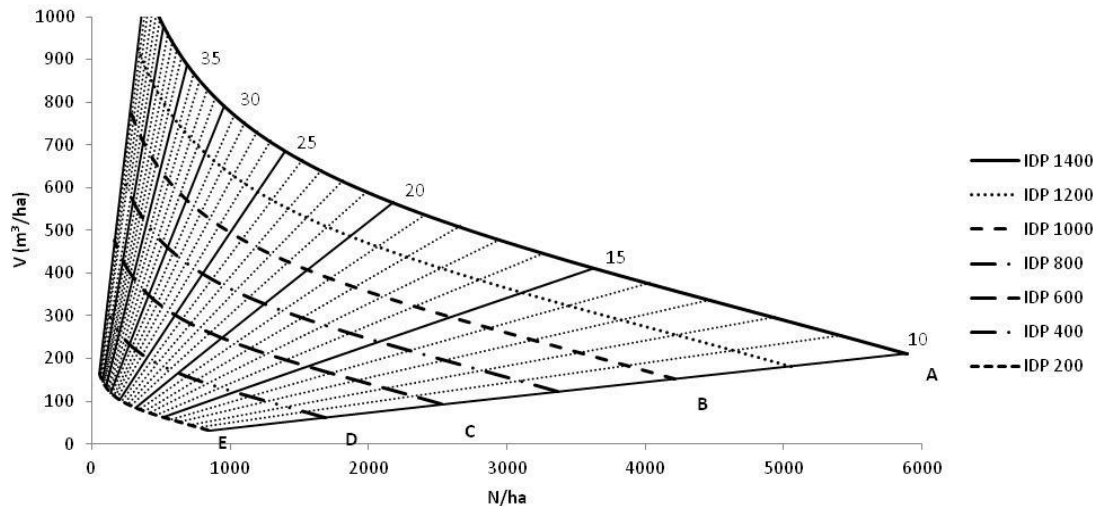


FIGURA 13– DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE PARA *Araucaria angustifolia* EM MISIONES- ARGENTINA PARA A VARIÁVEL VOLUME.

As tendências dos volumes por hectare foram de aumento com o incremento do diâmetro médio e do IDP. Essa mesma tendência ocorreu com *Pinus taeda* no trabalho de Schneider (2008b), a qual, segundo o autor, foi considerada normal em povoamentos superestocados, pois se enquadra na estrutura de crescimento em populações equiâneas para essa espécie. Esta tendência se repete para *Araucaria angustifolia*.

Para verificar as tendências de autodesbaste no povoamento oriundo de Misiones na Argentina, os dados de volume foram plotados no diagrama, estratificados por espaçamento e idades identificadas por cores (FIGURA 14).

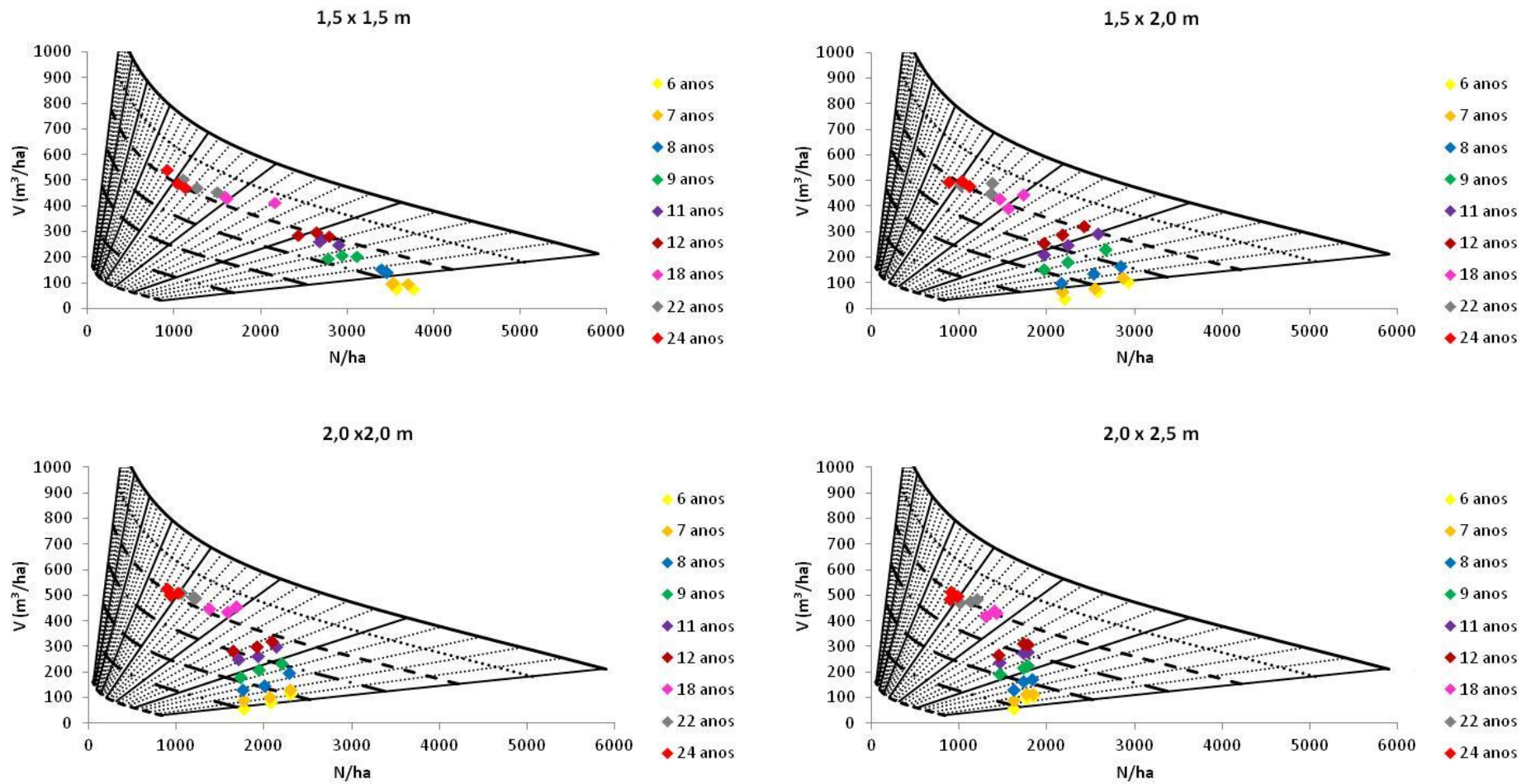


FIGURA 14– VALIDAÇÃO DOS DADOS DE *Araucaria angustifolia* PROVENIENTES DE MISIONES NA ARGENTINA NO DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE DE VOLUME.

continua

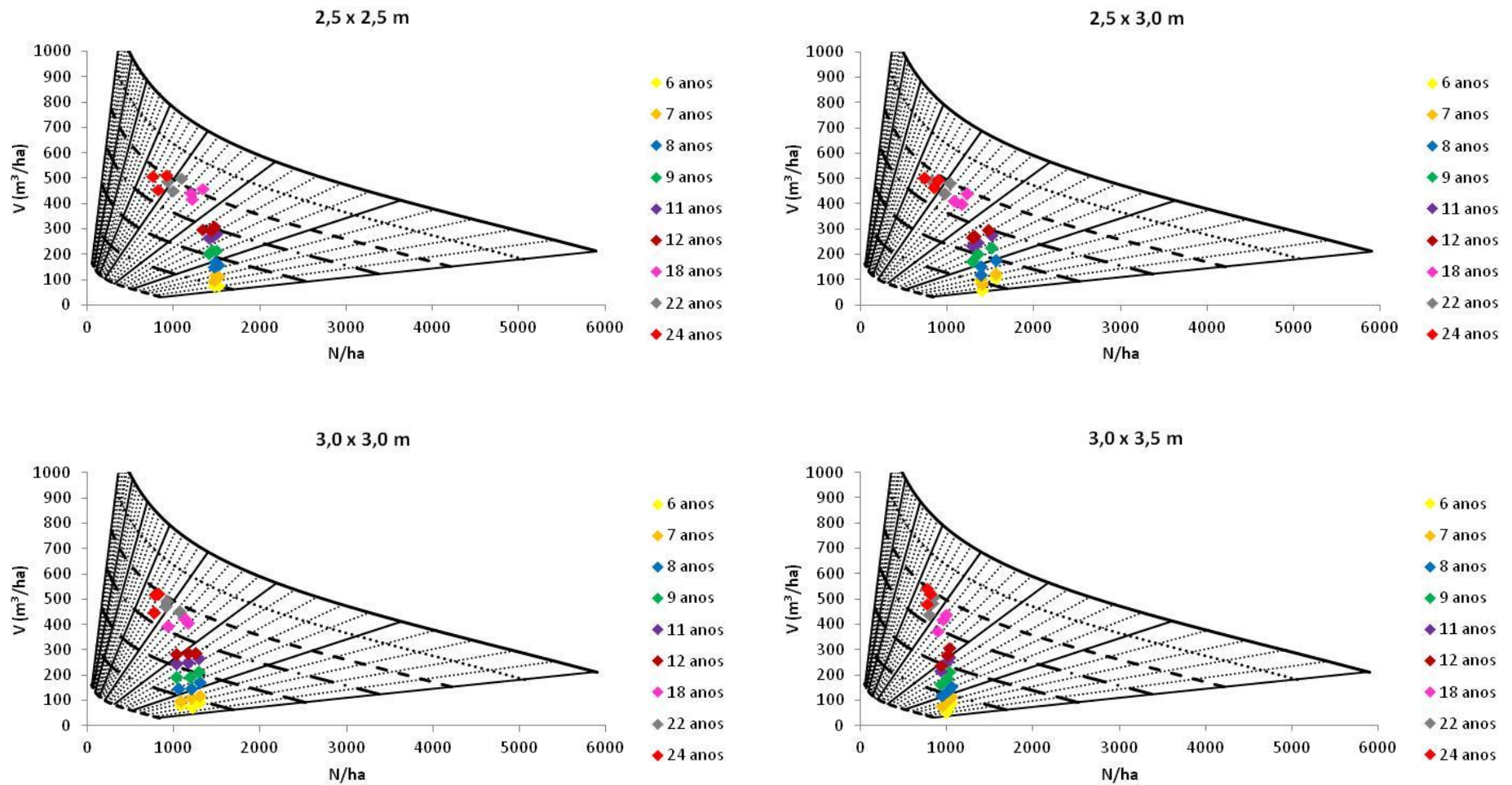


FIGURA 14– VALIDAÇÃO DOS DADOS DE *Araucaria angustifolia* PROVENIENTES DE MISIONES NA ARGENTINA NO DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE DE VOLUME.

continuação

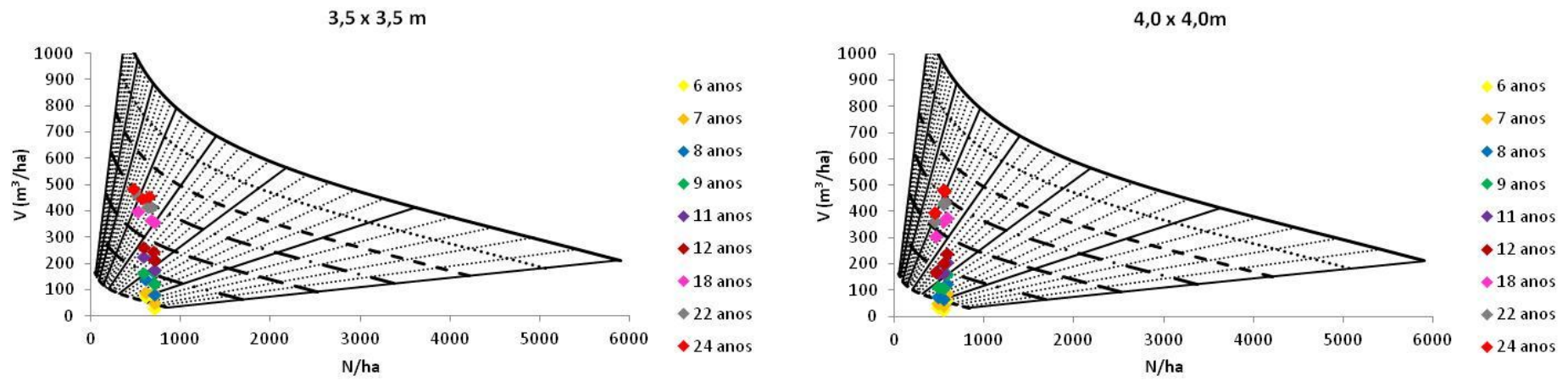


FIGURA 14– VALIDAÇÃO DOS DADOS DE *Araucaria angustifolia* PROVENIENTES DE MISIONES NA ARGENTINA NO DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE DE VOLUME.

conclusão

Na FIGURA 14 nota-se que a mortalidade é inversamente proporcional ao espaçamento. No espaçamento 1,5 x 1,5 m a mortalidade é intensa, percebida com a horizontalidade da nuvem de pontos. O incremento em volume total é pequeno, pois nos primeiros anos o volume total já é alto devido ao grande número de indivíduos, e o volume perdido pela alta mortalidade é compensado pelo acréscimo em diâmetro, e conseqüentemente em volume, das árvores remanescentes.

Nos espaçamentos 1,5 x 2,0 m, 2,0 x 2,0 m e 2,0 x 2,5 m, o volume aos 24 anos é o mesmo que o observado no espaçamento mais adensado (1,5 x 1,5 m), porém com menor mortalidade. Isso é explicado por Schneider (2008a), que relata que a competição entre indivíduos no povoamento atua diretamente sobre o incremento individual. Um incremento total elevado no povoamento pode dar-se por meio de um grande número de árvores pequenas e de pouco valor agregado ao indivíduo ou, em outro caso, um incremento igual ou menor, mas concentrado em um número menor de árvores de maior tamanho, que possuem maior valor agregado. Isso se baseia no fato de que o valor por unidade de volume aumenta com o tamanho da árvore, tamanho do povoamento, qualidade da madeira, grau de nodosidade, entre outros elementos.

Nos espaçamentos menos densos percebe-se que as árvores apresentam diâmetros médios quadráticos, em todas as idades, maiores que nos espaçamentos mais densos, pois com mais espaço para se desenvolver o incremento em diâmetro é maior.

Segundo Thomas (2009), caso se queira produzir muito volume em pouco tempo, admitindo pequenas taxas de incremento individual, devem ser utilizados valores de IDP mais elevados. E, desejando-se incrementos individuais maiores deve-se utilizar valores de IDP mais baixos.

4.4 VALIDAÇÃO DO DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE

4.4.1 Dados da Empresa Araupel

O diagrama de manejo da densidade construído a partir dos dados de Misiones na Argentina, o qual possui utilização independente do sítio e idade, foi validado com os dados de *Araucaria angustifolia* com 16 anos da empresa Araupel (FIGURA 15).

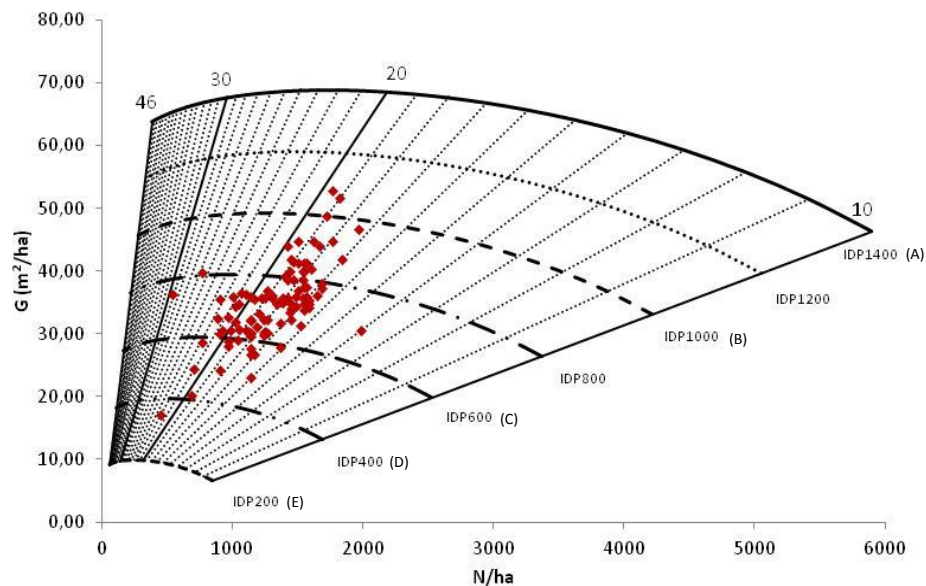


FIGURA 15 – VALIDAÇÃO DO DIAGRAMA DE MANEJO DA DENSIDADE PARA O POVOAMENTO DE *Araucaria angustifolia* DE 16 ANOS.

Foi possível notar que este povoamento de 16 anos possui diâmetros médios quadráticos médios entre 16 e 21 cm e apresentam a maioria das parcelas com valores de IDP entre 1.000 e 600, ou seja, entre a linha B e C, áreas indicadas para o desbaste. As parcelas acima da linha B não devem receber desbaste, visto que, segundo Thomas (2009), já existe perda de crescimento por competição excessiva. Abaixo da linha D o povoamento ainda encontra-se em densidade excessivamente baixa, de modo que as árvores, mesmo estando em crescimento livre, não possuem copas capazes de ocupar todo o espaço. Densidades tão baixas não são de interesse por se desperdiçar capacidade de sítio.

Por meio da análise do comportamento de cada parcela foi possível concluir que devem tratar-se as parcelas individualmente, de acordo com seu comportamento no DMD. Por isso, é fundamental plotar os dados no gráfico e avaliá-los individualmente antes da tomada de decisão do desbaste.

4.4.2 Dados da Estação Experimental de Rio Negro

O povoamento de Rio Negro foi inventariado em 2004, quando possuía 37 anos, destacando-se pela grande quantidade de indivíduos bifurcados. Essas bifurcações tiveram como consequência o aumento na área basal da floresta

plantada, como é possível notar no diagrama que a área basal ultrapassa os limites do DMD (FIGURA 16). Nessa figura, nota-se uma elevada área basal porque as árvores com bifurcações abaixo de 1,30 m foram tratadas como um único fuste. Com esse cálculo foi possível visualizar a mortalidade natural da floresta, pois entre 2004 e 2011 foram retiradas as bifurcações finas das árvores mantendo um único fuste em pé. Essa intervenção gerou uma redução na área basal dos indivíduos em 2011, quando o povoamento tinha 44 anos, representado pelos pontos verdes.

O cálculo da área basal das árvores considerando as bifurcações como um único indivíduo permitiu verificar a mortalidade natural da floresta, já que não houve desbaste das árvores, sendo retirados apenas os fustes mais finos das árvores bifurcadas.

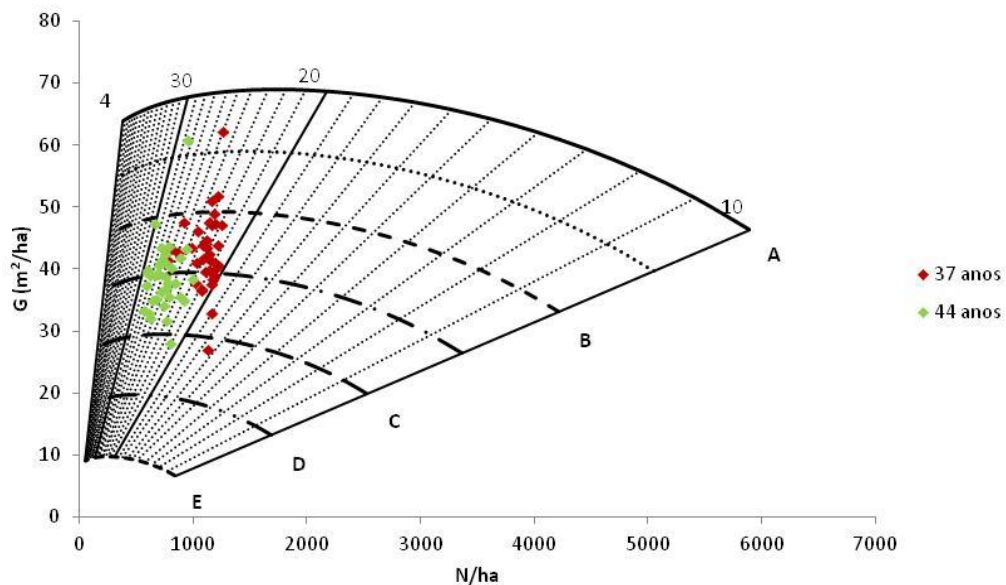


FIGURA 16– VALIDAÇÃO DOS DADOS DE *Araucaria angustifolia* PROVENIENTES DA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE RIO NEGRO.

Na FIGURA 17 as bifurcações foram tratadas como indivíduos diferentes, ou seja, uma árvore com dois fustes foi considerada como sendo dois indivíduos, afim de analisar o efeito do desbaste dos fustes mais finos na floresta plantada.

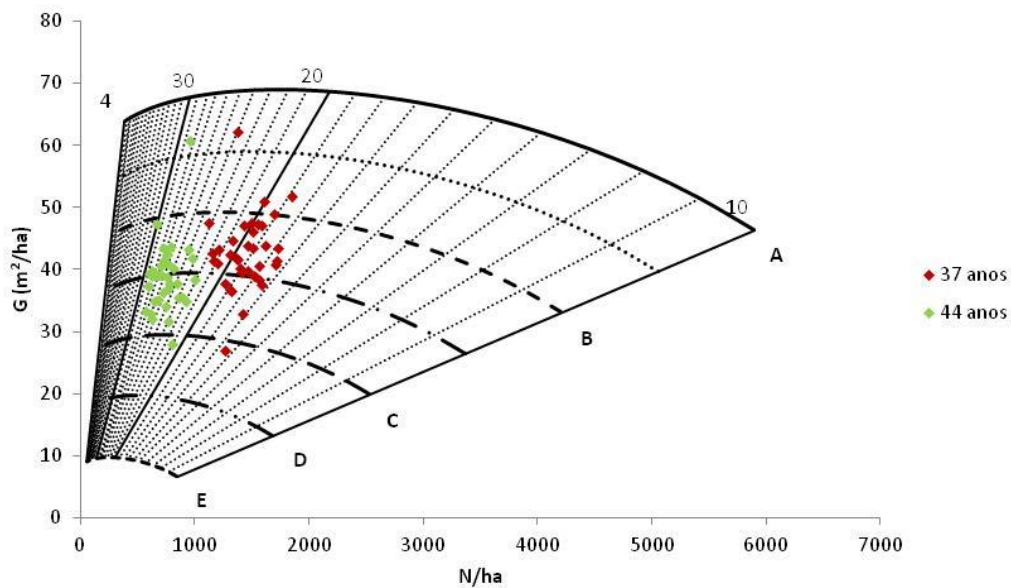


FIGURA 17– VALIDAÇÃO DOS DADOS DE *Araucaria angustifolia* PROVENIENTES DA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE RIO NEGRO TRATANDO AS BIFURCAÇÕES COMO DOIS INDIVÍDUOS.

É claramente visível no DMD a redução do número de indivíduos após o desbaste e consequente redução na área basal entre 2004 e 2011.

4.4.3 Dados da Flona de Irati

Como a floresta plantada proveniente da Flona de Irati é muito antiga, com cerca de 60 anos, existem poucos indivíduos por hectare devido à mortalidade natural causada por competição com indivíduos de variadas espécies. Esta área apresenta um sub-bosque bastante denso e com elevada diversidade de espécies, e foram executados desbastes ao longo dos anos. Apesar do pequeno número de indivíduos por hectare, variando entre 170 à 400 por hectare, a área basal é alta devido aos grandes diâmetros.

É possível perceber no DMD (FIGURA 18) que esse povoamento está na zona indicada para desbaste, e que a mortalidade ainda ocorre. Porém, reduzindo a área basal diminuiria muito o número de indivíduos. Como se trata de uma Flona, a indicação é manter os indivíduos em pé para que façam parte da recomposição da floresta, no entanto em se tratando de produção os desbastes e corte raso já deveriam ter sido efetuados.

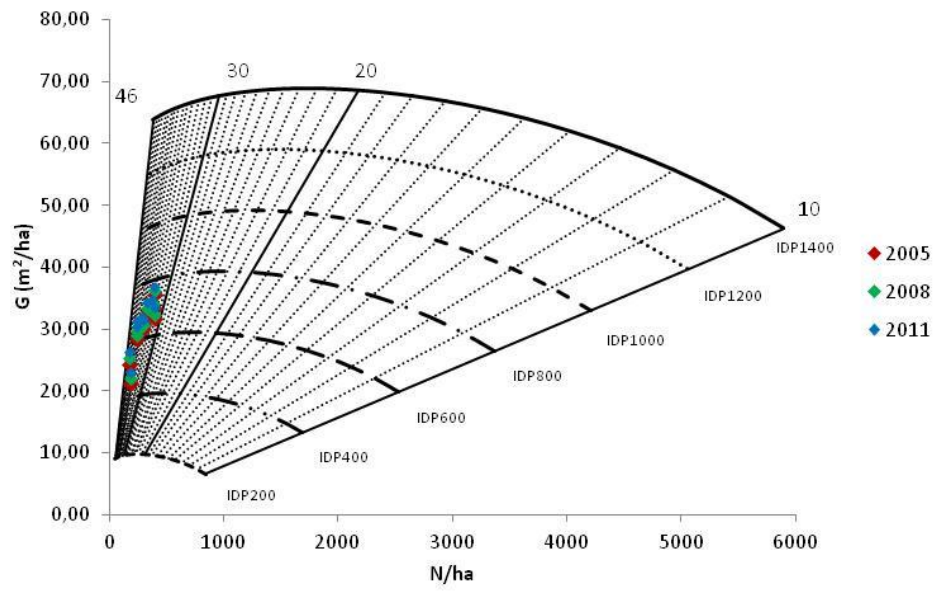


FIGURA 18- VALIDAÇÃO DO DMD PARA O POVOAMENTO DE *Araucaria angustifolia* PROVENIENTE DA FLONA DE IRATI.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos e nas análises efetuadas, pode-se estabelecer as seguintes conclusões:

- O modelo de Tang apresenta melhor desempenho quando ajustado em densidades em que o povoamento encontra-se em autodesbaste;
- Considerando o povoamento com 25 cm de diâmetro médio quadrático, os índices de densidade do povoamento variam de 1400 a 200 em intervalos de 200;
- O modelo de estimativa de volume $\ln \bar{v} = b_0 + b_1 \cdot \ln N + b_2 \cdot \ln G$ (21) foi o selecionado para a construção do DMD;
- Foi possível construir o diagrama de manejo da densidade com os dados de Misiones na Argentina para área basal e volume;
- Com o povoamento da Empresa Araupel, foi possível concluir que as parcelas devem ser manejadas de acordo com o DMD, não pela idade;
- Com o povoamento proveniente de Rio Negro, mesmo tratando os fustes como 1 ou 2 indivíduos, os dados apresentaram consistência no DMD;
- A validação dos dados da Floresta Nacional de Irati permitiu verificar que o DMD é viável em situações extremas de idade;
- É confirmado que os plantios mais adensados entram primeiro na zona de concorrência que os plantios com maiores espaçamentos.

REFERÊNCIAS

- ALDER, D. **Forest volume estimation and yield prediction**. Rome: FAO. v.2. 1980.
- AQUINO, F. M. Cultivo da *Araucaria angustifolia*: Viabilidade econômico-financeira e alternativas de incentivo. 2005. Disponível em: http://www.brde.com.br/media/brde.com.br/doc/estudos_e_pub/IS%202005-01Cultivo%20da%20araucaria%20SC.pdf. Acesso em: 30/12/12.
- ARCHIBALD, D. J.; BOWLING, C. Jack pine density management diagram for boreal Ontario. Northeast Science & Technology. 1995. 19p. Technical Note.
- ASSMANN, E. **Principles of forest yield study**. New York: Pergamon Press, 1970.
- AVERY, T. E.; BURKHART, H. E. **Forest measurements**. 4. ed. New York: McGraw-Hill Book, 1994.
- BANDEL, G.; GURGEL, K. A. A. **Proporção do sexo em *Araucaria angustifolia***. Silvicultura em São Paulo, São Paulo. v.6, p. 209-220, 1967.
- BALDANZI, G.; ARAUJO, A. J. Investigação sobre a variação geográfica na *Araucaria angustifolia*, na estação de pesquisas florestais de Rio Negro - PR. **Revista Floresta**, Curitiba. v. 3, n.1 , p. 37 – 42, 1971.
- BERGER, R. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 2, n. 2, p. 75-87, jan./dez. 2002.
- BRITEZ, R. M., REISMANN, C. B.; SILVA, S. M.; SANTOS FILHO, A. Deposição estacional de serrapilheira e macronutrientes em floresta de araucária. In: 2º CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS. 1992. São Mateus do Sul, Paraná. Anais... 1992. p. 766-772.
- CHAPMAN, H. H. Effects of thinning on yields of forest-grown longleaf and loblolly pines at Uruapan, LA. **Journal of forestry**, Washington, v. 51, p. 16-26, 1953.
- CRECHI, E. H. **Efeitos da densidade da plantação sobre a produção, crescimento e sobrevivência de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em Misiones, Argentina**. 172 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Florestal)- Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1996.
- CURTIS, R. O. Yield tables past and present. **Journal Forestry**, v.70, p.28-32, 1972.
- CURTIS, R. O. A simple index of stand density for Douglas-fir. **Journal Forestry**, v.28, p.92-94, 1982.
- DANIEL, P. W. ; HELMS, V. E. ; BAKER, F. S. **Princípios de Silvicultura**. México: Mc-Graw Hill. 1982.

DAY K. Stocking standards for uneven-aged interior douglasfir. In Vyse A, C Hollstedt, D Huggard eds. *Managing the dry Douglas-fir forests of the southern interior: Workshop Proceedings*. Victoria, Canada. B.C. Min. For. p. 37-52. 1998.

DEAN, T. J.; BALDWIN, V. C. **Using a stand density-management diagram to develop thinning schedules for loblolly pine plantations**. USDA Forest Service. 1993. (Research paper, SO 275).

DEL RIO, M.; MONTERO, G.; BRAVO, F. Analysis of diameter-density relationships and self-thinning in non-thinned even-aged Scots pine stands. **Forest Ecology and Management**, v.142, p.79-87, 2001.

DIETRICH, A. B. **Relações em dados analíticos de solo: Análise foliar e dados de crescimento da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** 87p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1979.

DONI FILHO, L.; AMARAL, L.; CERVI, P.H. Métodos para testar o poder germinativo das sementes de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktzer. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília-DF, v.7, n.2, p.113-123, 1985.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Cultivo da Araucaria. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Araucaria/CultivodaAraucaria_2ed/index.htm>. Acesso em: 02 de Marc, 2012.

FISHWICK, R. W. Estudo de espaçamentos e desbastes em plantações brasileiras. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 7, n. 26, p. 13-23, abr./jun. 1976.

Fundação de Pesquisas florestais do Paraná – FUPEF; Instituto Brasileiro de desenvolvimeno Floresal- IBDF. **Inventário florestal do Pinheiro no sul do Brasil: Relatório final**. Curitiba, 327p. 1978.

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

GINRICH, S. R. Measuring and evaluating stocking and stand density in upland hardwood forests in the central states. **Forest Science**, Bethesda, v. 13, n. 1, p. 28-53, Feb. 1967

GOMES, F. S. Avaliação da produção em volume total e sortimento em povoamentos de *Pinus taeda* submetidos a diferentes condições de espaçamento inicial e sítio. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.7, n.1, p.101-126. jan./dez, 1997.

GLUFKE, C.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Crescimento de *Pinus elliottii* Engelm sob diferentes intensidades de desbaste. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.7, n.1, p. 11-25, 1997.

- HARRINGTON, T. B. **Silvicultural approaches for thinning southern pines: method, intensity and timing**. 1997. School of Forest Resources, Geórgia, EUA, Disponível em: <www.gfc.state.ga.us/Resources/Publications/ForestManagement/SilviculturalApproaches.pdf>. Acesso em 01 de març. 2012.
- HESS, A. F., SCHNEIDER, P. R., FINGER, C. A. G. Crescimento em diâmetro de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze em função da idade, em três regiões do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.9, n.1, p. 7-22, 2009.
- HILEY, W. E. **Conifers: South African methods of cultivation**. London: Faber and Faber, 1959. 123 p.
- JENNINGS, S. **Blackwood Native Forest Silviculture**. Forest Comission, Tasmania. 1991. Technical Bulletin n^o 10.
- KRAMER, P. J., KOSLOWSKI, T. T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1960.
- LONG, J. N.; SMITH, F. W. Relation between size and density in developing stands: a description and possible mechanisms **Forest Ecology and Management**, v.7, p.191-206, 1985.
- LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas e nativas do Brasil**, Nova Odessa, SP, 1992.
- MACHADO, S. A.; SIQUEIRA, J. D. P. Distribuição natural da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze In: IUFRO Meeting on forestry problems of the genus *Araucaria* (1:1979: Curitiba). **Forestry problems of genus *Araucaria*** . FUPEF, Curitiba, 1980, p. 347-350.
- MAZZA, C. A. da S., MAZZA, M. C. M., SANTOS, J. E. SIG aplicado à caracterização ambiental de uma unidade de conservação Floresta Nacional de Irati, Paraná. 2005, Goiânia, Brasil. **Anais... XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2005. p. 2251-2258.
- MEYER, E. A. **Densidade de árvores por diâmetro na floresta estacional decidual no Rio do Grande Sul**. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.
- MITCHELL, H. C. Regulation of farm woodlands by rule of thumb. **Journal of Forest**, New York, n. 41, p.243-248, 1943.
- PENNER, M.; SWIFT, E.; GAGNON, R.; KNOX, J. A stand density management diagram for spruce in New Brunswick. In: Fundy Model Forest Network. **Canadian Forest Service**. 2004. 12p.
- REID, R. Silvicultural management of Australian blackwood (*Acacia melanoxylon*) in plantations and multi-purpose forests. **National Research Council Canada**. v.34, n.5, 2004.

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

ROGERS, R. Guides for thinning shortleaf pine. In Proceedings of the second biennial southern silvicultural research conference. Atlanta, GA, USA. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. p. 217-22, 1983.

SANQUETTA, C. R., TETTO, A. F. **Pinheiro-do-paraná: lendas & realidades**. 1, ed. Curitiba, 2000.

SANTOS, W. C. **Análise de características dendrométricas e fatores edáficos no crescimento e produção de um povoamento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Centro de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SAUNDERS, M. R.; PUETTMANN, K. J. **A preliminary white spruce density management diagram for the lake states**. University of Minnesota. Department of forest Research, 2000, p.13.

SCHEEREN, L. W. **Estruturação da produção de povoamentos monoclonais de *Eucalyptus saligna* Smith manejados em alto fuste**. 181 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2003.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008 a.

SCHNEIDER, P. S. P. **Autodesbaste e diagrama de manejo da densidade em Povoamentos de *Pinus taeda* L.** 95f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Florestal)- Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008 b.

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

SCHULTZ, R. P. Loblolly pine. **USDA Forest service**. (Agricultural handbook, 713). 1997.

SELLE, G. L. **Guias de densidade e índices de sítios para *Hovenia dulcis* Thunberg na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil**. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

SILVA, H. D.; BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A. **Cultivo do eucalipto**: Sistemas de plantio. In: Embrapa Florestas Sistemas de Produção. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/>

CultivodoEucalipto/04_consideracoes_gerais_sobre_o_plantio.htm. Acesso em: 29/02/12.

SPATHELF, P.; NUTTO, L. **Modelagem aplicada ao crescimento e produção florestal**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2000. 71p. Série Técnica.

SPURR, S. H. **Forest inventory**. New York: The Ronald Press, 1952.

SOARES, C. P. B; PAULA NETO, F; SOUZA, L. A. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 2011.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. Washington, 1987. (SMSS Technical Monogr., n. 6).

STERBA, H.; MONSERUD, R. A. The maximum density concept applied to uneven-aged mixed-species stands. **Forest Science**, v.39, n.3, p.432-452, 1993.

SOUSA, V. A. **Population genetic in *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze**. 1 ed. Göttingen: Cuvillier, 2000.

TANG, S.; MENG, C. H.; MENG, F. R., A growth and self-thinning model for pure even-aged stands: theory and applications. **Forest Ecology and Management**, St. Louis, v. 70, n. 1, p. 67-73, 1994.

TÉO, S. J.; MACHADO, S. A.; da SILVA, L.C.R; FIGURA, M.A. Índice de densidade do povoamento para Bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba, PR. **Revista Cerne**, Lavras, v.14, n.1, p. 54-61, jan/mar. 2008.

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

YODA, K.; KIRA, T.; OGAWA, H.; HOZUMI, K., Self-thinning in over rowed pure stands under cultivated and natural conditions. **Journal of Biology**, Osaka City, v.14, p.107- 129, 1963.

WILSON, F. G, Numerical expression of stocking in terms of height. **Journal of Forest**, New York, v.44, n 10, p. 758-761, 1946.

ZEIDE, B. A relationship between size of trees and their number. **Forest Ecology and Management**, v.72, p.265-272, 1995.