

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**DENSIDADE DE ÁRVORES POR DIÂMETRO NA  
FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL NO  
RIO DO GRANDE SUL**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Evandro Alcir Meyer**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2011**

# DENSIDADE DE ÁRVORES POR DIÂMETRO NA FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL NO RIO DO GRANDE SUL

**Evandro Alcir Meyer**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal.**

Orientador: Prof. Dr. Frederico Dimas Fleig

Santa Maria, RS, Brasil  
2011

M612d Meyer, Evandro Alcir  
Densidade de árvores por diâmetro na floresta estacional decidual no Rio Grande do Sul / por Evandro Alcir Meyer. – 2011.  
71 f. ; il. ; 30 cm

Orientador: Frederico Dimas Fleig  
Coorientador: César Augusto Guimarães Finger  
Coorientador: Solon Jonas Longhi  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2011

1. Engenharia florestal 2. Autodesbaste 3. Densidade pontual  
4. Competição 5. Índice de densidade de povoamento 6. Manejo da densidade  
I. Fleig, Frederico Dimas II. Finger, César Augusto Guimarães III. Longhi, Solon Jonas IV. Título.

CDU 630.2

Ficha catalográfica elaborada por Cláudia Terezinha Branco Gallotti – CRB 10/1109  
Biblioteca Central UFSM

---

© 2011

Todos os direitos autorais reservados a Evandro Alcir Meyer. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.  
Endereço: Rua José Manhago, 495, Santa Maria, RS, 97105-430  
End. Eletr: eam.meyer@gmail.com

---

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado**

**DENSIDADE DE ÁRVORES POR DIÂMETRO NA  
FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL NO RIO DO GRANDE SUL**

elaborada por  
**Evandro Alcir Meyer**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Florestal**

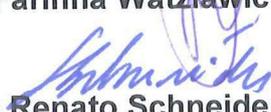
**COMISSÃO EXAMINADORA:**



**Frederico Dimas Fleig, Dr.**  
(Presidente/Orientador)



**Luciano Farinha Watzlawick, Dr. (Unicentro)**



**Paulo Renato Schneider, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, 28 de fevereiro de 2011.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, que me deu forças e a sabedoria necessárias para que eu pudesse vencer mais esta etapa da minha vida;

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, e aos professores, pelo conhecimento a mim transmitido;

Ao Cnpq, pela concessão da bolsa de mestrado, que permitiu a realização deste trabalho;

Ao Professor Dr. Frederico Dimas Fleig, meu orientador, pelas orientações transmitidas, pela amizade, e pela paciência e compreensão nas considerações finais do estudo;

Aos professores Co-orientadores Dr. César Augusto Guimarães Finger, e Dr. Solon Jonas Longhi, pela contribuição com o trabalho, e pela amizade.

Aos Professores Dr. Paulo Renato Schneider e Dr. Luciano Farinha Watzlawick, pela disponibilidade em contribuir com este trabalho, participação na banca;

À Sra. Cerlene Machado, secretária do PPGEF, pela paciência e amizade;

Aos meus pais, Nilvo e Lovane, e meus irmãos Alexandre e Samuel, pelo incentivo, confiança, educação, e em especial, por compreenderem a minha ausência em certos períodos;

À minha noiva, Karine, pela força, e por todo o apoio durante as horas mais difíceis, e auxílio nas coletas de dados;

À família da minha noiva, minha segunda família, pelo apoio e amizade, em especial à tia Neiva pelo “apoio logístico”, e ao Matheus pelo auxílio a campo;

Aos colegas de Pós-Graduação, principalmente do Laboratório de Manejo Florestal, e em especial aos que auxiliaram na coleta dos dados, Lílian, Elisabete e Guilherme;

E a todos que de alguma ou outra forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Santa Maria

### **DENSIDADE DE ÁRVORES POR DIÂMETRO NA FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL NO RIO DO GRANDE SUL**

AUTOR: EVANDRO ALCIR MEYER

ORIENTADOR: FREDERICO DIMAS FLEIG

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 28 de fevereiro de 2011.

O objetivo deste trabalho foi estudar a relação entre a densidade de árvores por hectare e o diâmetro médio para uma Floresta Estacional Decidual, bem como, ajustar o modelo Reineke para descrever este comportamento. A área de estudo localiza-se no município de Silveira Martins, na região central do Rio Grande do Sul e encontra-se em estágio inicial de sucessão, após uso agrícola. As informações referentes ao número de árvores por hectare e o diâmetro médio foram obtidas por meio do método de densidade pontual proposto por Spurr. Estas parcelas foram amostradas nos estágios iniciais de uma floresta secundária, escolhendo-se áreas onde predominava o camboatá-vermelho (*Cupania vernalis*). Como as florestas naturais apresentam espaçamento irregular, a densidade é bastante variável, assim sendo, para selecionar apenas parcelas em alta densidade, foram escolhidas áreas em que se verificava a ocorrência de indivíduos mortos. Foram testados diferentes métodos para estimar o limite superior da linha de autodesbaste: a análise de regressão (para todos os dados e densidade relativa maior que 60%), corrigindo o intercepto para que os resíduos fossem negativos; o ajuste manual; o de densidade relativa ( $DR > 90\%$ ) e a análise de fronteira estocástica. O método que melhor estimou a máxima densidade foi a análise de regressão com dados de no mínimo 60% da densidade máxima, obtendo um coeficiente angular de -1,563 para o modelo de Reineke. Não houve diferença significativa entre as potências fornecidas pelos diferentes métodos. O Índice de Densidade de Povoamento máximo foi de 1779 árvores por hectare, para o dg de 25 cm. O diagrama de manejo da densidade foi construído em função da área basal, do número de árvores por hectare e do diâmetro da árvore de área basal média. Foram utilizadas as densidades de 15% e 60%, para o fechamento das copas, e a indução da mortalidade, respectivamente. Os níveis de densidade foram determinados, proporcionalmente, à máxima densidade por índice de densidade do povoamento (IDP), para um diâmetro de referência de 25 cm, em classes de índice de 200, desde o IDP de 1700, até o mínimo de 300. Populações cuja densidade for maior que 60% da máxima foram consideradas superestocadas, entre 60 e 15% estocadas, e abaixo de 15% subestocadas. Recomendou-se a combinação do Dendrograma gerado neste estudo com o método de Spurr para guiar as intervenções na Floresta Estacional Decidual.

**Palavras-chave:** Autodesbaste. Densidade pontual, Competição, Índice de Densidade de Povoamento, Diagrama de Manejo da Densidade.

## ABSTRACT

Master's Dissertation  
Program of Post-graduation in Forest Engineer  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, BRASIL.

### DENSITY OF TREES BY DIAMETER IN SEASONAL DECIDUOUS FOREST IN RIO GRANDE DO SUL

AUTHOR: EVANDRO ALCIR MEYER  
ADVISER: Dr. FREDERICO DIMAS FLEIG  
Defense Place and Date: Santa Maria, February 28<sup>th</sup>, 2011.

The objective of the work was to study the relationship between the density of trees per hectare and the average diameter to a Deciduous Forest, as well as adjust the model to describe this behavior Reineke. The study area is located in the town of Silveira Martins, in the central region of Rio Grande do Sul and is in early stages of succession after agriculture. The information about the number of the trees per hectare and the average diameter were obtained by the method of density-off proposed by Spurr. These plots were sampled in the early stages of a secondary forest, picking up areas where the predominant Camboatá-vermelho (*Cupania vernalis*). As natural forests have irregular spacing, density is highly variable, therefore, to select only high-density plots were chosen in areas that there was the occurrence of dead individuals. Were tested different methods to estimate the upper limit of the self thinning line: regression analysis (for all data and relative density greater than 60%), correcting the intercept so that the wastes were negative, the manual adjustment, the relative density (DR > 90%) and stochastic frontier analysis. The method that estimated the maximum density was regression analysis with data from at least 60% of maximum density, obtaining a slope of -1.563 for the model of Reineke. There was no significant difference between the powers provided by the different methods. The maximum Stand Density Index was 1779 trees per hectare, to a dg of 25 cm. The density management diagram was constructed on the basis of basal area, number of trees per hectare and diameter of the tree of average basal area. Were used the densities of 15% and 60%, to close the canopy, and the induction of mortality, respectively. The densities were determined proportionally to the maximum density by stand density index (PDI) for a reference diameter of 25 cm in different classes of index 200, since the IDP 1700, to a minimum of 300. Populations whose density is greater than 60% of the maximum were considered overstocked, between 60 and 15% fully stocked, and below 15% under stocked. They recommended a combination of Dendrogram generated in this study with the method of Spurr to guide interventions in the Deciduous Forest.

**Key words:** Self-thinning. Point density, Competition, Stand Density Index, Density Management Diagram.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de Manejo da Densidade (DMD): A – Linha de máxima densidade e diâmetro, B – início da mortalidade, C – máxima produtividade do povoamento, D – ocupação das copas, C-B - Faixa escura, zona de manejo com estoque completo almejado. Fonte: Saunders e Puettmann (2000). .....	29
Figura 2: Localização da área de estudo. Adaptado de Wikipédia (2010), Pereira et al. (2002) e Google earth (2010). .....	32
Figura 4: Tendência do número de árvores em função do diâmetro médio quadrático em escala aritmética (A) e duplo-logarítmica (B) (Silveira Martins, 2010). .....	47
Figura 5: Comparação do limite superior do autodesbaste em estágio inicial de Floresta Estacional Decidual, obtido pelo método de ajuste manual e regressão 60 %. .....	51
Figura 6: Representação da tendência das curvas de Índice de Densidade do Povoamento em função do dg, para diâmetros entre 3 e 11 cm. ....	53
Figura 7: Representação da tendência das curvas de Índice de Densidade do Povoamento em função do dg, para diâmetros entre 11 e 25 cm. ....	54
Figura 8: Representação da tendência da área basal por Índice de Densidade do Povoamento em função do dg, para Floresta Estacional Decidual. ....	56
Figura 9: Diagrama de manejo da densidade para o estágio inicial da Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul, para diâmetros entre 3 e 11 cm.....	57
Figura 10: Diagrama de manejo da densidade para o estágio inicial da Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul para diâmetros entre 11 e 25 cm.....	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variação da distância de inclusão para diferentes Fatores de Área Basal (FAB).....	38
Tabela 2: Família botânica, nome científico e comum, das espécies amostradas (Silveira Martins, 2010).....	43
Tabela 3: Parâmetros fitossociológicos das espécies amostradas (Silveira Martins, 2010). ....	44
Tabela 4: Resumo estatístico dos dados das 198 parcelas utilizadas para a definição da linha de máxima densidade em Floresta Estacional Decidual (Silveira Martins, 2010).....	46
Tabela 5: Comparação dos parâmetros do modelo de Reineke (1933) estimados por diferentes métodos para Floresta Estacional Decidual, em Silveira Martins. ....	48
Tabela 6: Índices de densidade do povoamento em número de árvores por hectare para Floresta Estacional Decidual.....	52
Tabela 7: Área basal em função do diâmetro e por Índices de Densidade do Povoamento, para Floresta Estacional Decidual.....	55

## LISTA DE ABREVIACÕES

- CAP = circunferência à altura do peito;
- DAP = diâmetro à altura do peito;
- dg = diâmetro quadrático médio;
- N = número de indivíduos;
- G = área basal;
- IDP = Índice de Densidade de Povoamento;
- DMD = Diagrama de Manejo de Densidade;
- DA = Densidade absoluta;
- DR = Densidade relativa (%);
- Doa = Dominância absoluta;
- DoR = Dominância relativa;
- FA = Frequencia absoluta;
- FR = Frequencia relativa;
- FAB = Fator de área basal;
- REG.C = Análise de Regressão Corrigida;
- REG.C - 60%DR = Análise de Regressão Corrigida com as parcelas cuja DRé superior a 60%;
- CV% = Coeficiente de Variação;
- SFA = Análise de Fronteira Estocástica;
- Reg. 90% DR = regressão para os dados com Densidade relativa maior que 90%;

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>15</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>15</b>
<b>3.1 Floresta Estacional Decidual.....</b>	<b>16</b>
<b>3.2 Autodesbaste.....</b>	<b>18</b>
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1 Caracterização do local de estudo .....</b>	<b>32</b>
<b>4.2 Descrição da espécie dominante.....</b>	<b>34</b>
<b>4.3 Metodologia específica.....</b>	<b>36</b>
4.3.1 Caracterização da vegetação inventariada .....	36
4.3.2 Obtenção dos dados para o ajuste da máxima densidade.....	38
4.3.3 Área basal por hectare (G) .....	40
4.3.4 Número de árvores por hectare (N).....	40
4.3.5 Ajuste da linha de máxima densidade.....	40
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>43</b>
<b>5.1 Análise de Vegetação.....</b>	<b>43</b>
<b>5.2 Linha de Máxima Densidade .....</b>	<b>46</b>
<b>5.2 Índice de Densidade do Povoamento.....</b>	<b>51</b>
<b>5.3 Dendrograma de manejo da densidade.....</b>	<b>56</b>
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>63</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Os recursos florestais brasileiros vêm sendo explorados desde o início da colonização do país. Inicialmente, devido à baixa concentração demográfica, o impacto de tal exploração era mínimo. O crescimento da população e o desenvolvimento de novas tecnologias de utilização da madeira, aliados ao aumento do comércio e à circulação desses produtos além da constante busca por novas áreas favoráveis à atividade agrícola e à pecuária fez com que as florestas sofressem drásticas mudanças na sua estrutura original (HACK, 2007).

No Rio Grande do Sul, o processo foi semelhante ao restante do país. A cobertura florestal do estado que, de acordo com estimativas, cobria 48% do território gaúcho, hoje, encontra-se restrita a 17%, considerando áreas de capoeira, floresta secundária e de reflorestamento (I-CESNO-RS, 2006). Atualmente, estas áreas estão reduzidas a fragmentos em diferentes estágios de regeneração.

No estado gaúcho, com a chegada dos imigrantes, principalmente alemães e italianos, deu-se início à ocupação das áreas florestais. As florestas eram derrubadas para fins agrícolas. Com o passar do tempo, acentuando-se a partir da década de vinte do século passado, a exploração madeireira passou a ser uma atividade comercial de grande importância (VACCARO, 2002).

De acordo com Vaccaro (2002), apesar dos benefícios econômicos e sociais advindos desta atividade, inclusive, com a criação de vilas e cidades, a produção florestal subsistiu em um ambiente econômico meramente extrativista, praticada com interesses imediatistas. Nessa prática, não houve reposição ou condução das florestas com vistas à produção futura. Neste particular, deve-se esclarecer que este modelo de economia florestal não foi verificado só no Rio Grande do Sul, mas em todo o país.

Numa tentativa de preservar os remanescentes florestais, criou-se uma legislação que restringe o uso dessas áreas ainda existentes. Isso contribuiu diretamente para o desinteresse dos proprietários rurais pelas florestas nativas, que as eliminam e impedem a regeneração natural das espécies (I-CESNO-RS, 2006). Além disso, a inexistência de valor econômico para essas florestas contribui, ainda mais para o desapego pelas mesmas, aumentando as taxas de desmatamento.

De acordo com Andrae (2000), a dimensão do mercado local e internacional de madeira, bem como a vocação natural de boa parte das áreas antes cobertas por ricas florestas, deveria servir de motivação para gerar um amplo movimento estadual em favor da utilização destas chances ecológicas e da potencialidade produtiva existente. O autor ressalta ainda que o conceito de uso múltiplo das florestas, isto é, a obtenção simultânea de matéria-prima, de proteção, do equilíbrio ecológico e de benefícios recreativos, alcançados com o manejo sustentável, apresenta-se como uma tendência mundial tanto técnica, como cientificamente para as florestas mistas inequidâneas.

No caso do Rio Grande do Sul, as florestas nativas não são vistas com a função de produtoras de matéria-prima. Excetuando-se as Unidades de Conservação, as matas gaúchas encontram-se, na atualidade, bastante alteradas em sua composição e estrutura, depauperadas de suas árvores mais valiosas. O que se observa são verdadeiros mosaicos de estágios sucessionais pelos terrenos declivosos ou esgotados, distribuídos principalmente por regiões de minifúndios, vistos pela população rural como um estorvo ao aumento de receita da propriedade (ANDRAE, 2000).

Isso fez com que, apesar da área florestal do Rio Grande do Sul ter praticamente duplicado nos últimos 20 anos, não houvesse um aumento da oferta de madeiras nativas. Ao contrário, o Rio Grande do Sul passou de exportador de madeira de qualidade, há três décadas, à condição de importador de enormes quantidades de matéria-prima oriunda do Norte do País (ANDRAE, 2000).

Para devolver o interesse dos proprietários pelas florestas é necessário que elas, além de desempenharem as suas funções ambientais, gerem renda. Uma alternativa, neste caso, é o manejo florestal sustentado, descrito por Scolforo (1998) e Schneider e Finger (2000). Mas ainda existem muitas questões a serem respondidas para que esta prática possa ser adotada de maneira segura. Entre estas informações encontra-se a relação entre o tamanho das árvores da floresta e a densidade máxima que um determinado sítio pode suportar.

A medida que as árvores crescem, elas ocupam cada vez mais espaço, até atingir o limite máximo. O número de árvores que podem coexistir é influenciado pelas dimensões das mesmas, de modo que ocorre uma redução no número de indivíduos com o aumento do seu tamanho.

Assim, a combinação do número de árvores com uma variável que indique o tamanho das mesmas justifica-se porque quando um povoamento alcança o diâmetro máximo, para um determinado número de árvores, ocorre a ocupação de todo o espaço de crescimento disponível para as mesmas. Para que os indivíduos possam continuar crescendo, é necessário que ocorra a mortalidade de algumas árvores, a fim de liberar espaço a ser ocupado pelas remanescentes. Assim se verifica que à medida que o tamanho das árvores aumenta, acontece uma redução no número delas.

Conhecer o limite da relação entre o número de árvores e o seu tamanho, por exemplo, o diâmetro, em populações florestais, é extremamente importante do ponto de vista do manejo, pois oferece aos técnicos uma ferramenta para planejar intervenções silviculturais, como os cortes seletivos e de liberação, de modo a alcançar objetivos predefinidos.

Desta maneira, será possível determinar, com uma maior precisão, a intensidade dos cortes a serem realizados para a liberação de espaço e, por outro lado, mostrar quanto espaço há disponível para mais árvores, em florestas subestocadas, permitindo avaliar o número de mudas que poderiam ser introduzidas em plantios de enriquecimento.

Pensar em manejar florestas jovens, nos estágios iniciais de regeneração parece pouco proveitoso, pois o material cortado não tem grande aproveitamento. Porém, é nesta fase que devem ser feitas as primeiras intervenções silviculturais para transformar uma capoeira em uma floresta altamente produtiva quando madura. Por meio destas intervenções, como cortes de liberação, e plantios de enriquecimento, é possível conduzir uma população florestal para a obtenção de madeira de espécies com alto valor comercial, e com madeira de qualidade superior.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho é estudar a dinâmica do autodesbaste para uma Floresta Estacional Decidual, em estágio inicial de regeneração, na região central do estado do Rio Grande do Sul.

### **2.2 Objetivos específicos**

Entre os objetivos específicos deste trabalho destacam-se:

- a) avaliar a relação entre o número de árvores, a área basal máxima e o diâmetro médio das árvores;
- b) determinar a área basal máxima e o número de árvores que a floresta suporta para uma determinada dimensão;
- c) estudar o comportamento do modelo de densidade de Reineke (1933), para a relação diâmetro ( $dg$ ) e número de árvores;
- d) avaliar o desempenho de diferentes métodos para ajustar o modelo de Reineke;
- e) elaborar um diagrama de densidade de manejo para os estágios iniciais da floresta estacional decidual.

## 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 Floresta Estacional Decidual

A Floresta Estacional Decidual ocorre na região noroeste e central do estado do Rio Grande do Sul. A fração central está presente na vertente sul da Serra Geral e em diversas áreas dos rios Jacuí, Ijuí e Ibicuí (LEITE & KLEIN, 1990). Em seus estágios iniciais, médios e avançados de sucessão, ocupa uma área de 11.762,45 km<sup>2</sup> (1.176.245 ha), o que representa 4,16% da superfície do Estado e 23,84% da área total coberta com florestas naturais (RIO GRANDE DO SUL, 2002).

De acordo com o Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande Sul (RIO GRANDE DO SUL, 2002), esta formação compreende as florestas das porções médias e superiores do vale do Rio Uruguai, da maior parte da vertente sul da Serra Geral e de diversas áreas dispersas pelas bacias dos Rios Ijuí, Jacuí e Ibicuí, cobrindo, no sul do Brasil, uma superfície territorial de aproximadamente 47.000 km<sup>2</sup>. As espécies integrantes da região fisiográfica do Alto Uruguai coincidem, com as da Fralda da Serra Geral, mas apesar disso, ocorre certo número de espécies próprias.

A composição específica de florestas estacionais neste Estado é fortemente influenciada por dois contingentes florísticos diferentes, um coincidente com as florestas atlânticas do leste e outro com as florestas paranaense-uruguaianas do oeste (JARENKOW e WAECHTER, 2001).

Esta vegetação se caracteriza principalmente por apresentar elevada porcentagem de espécies exclusivas da floresta subtropical, número relativamente pequeno de espécies arbóreas altas e sobre tudo pela quase ausência de epífitas. Quanto à estrutura, podem-se distinguir três estratos arbóreos, além de um estrato arbustivo e um herbáceo. As árvores do estrato superior (30 a 40 m de altura) não formam uma cobertura contínua, ocorrendo muitas vezes como árvores emergentes. O estrato médio, com árvores de 15 a 25 metros de altura, é bastante denso e contínuo, constituído na sua maioria por espécies perenifólias. Já o estrato das arvoretas é formado por um número relativamente pequeno de árvores medianas, com altura entre 6 e 15 metros (KLEIN, 1972).

Além disso, Leite e Klein (1990) comentam que os poucos povoamentos de Florestas Estacionais Deciduais restantes na Região Sul do Brasil, estão alterados e

parcialmente descaracterizados. Nesse sentido Marchiori (1991) menciona que as florestas nativas neste Estado, são apenas pálidas sombras do que foram no passado.

No Rio Grande do Sul, a Floresta Estacional Decidual apresentou 229 espécies distribuídas em 63 famílias botânicas, com volume comercial médio de 155,5 m<sup>3</sup> por hectare e 830,3 árvores.ha<sup>-1</sup>. Destacam-se espécies como *Nectandra megapotamica*, (Canela-preta), *Alchornea triplinervia* (Spreng.) Müll.Arg. (Tanheiro), *Cupania vernalis* (Camboatá-vermelho), *Luehea divaricata* (Açoita-cavalo), *Casearia silvestris* (Carvalhinho), *Parapiptadenia rigida* (Angico-vermelho), *Cordia americana* (L.) Gottschling & J.J.Mill. (Guajuvira), *Matayba elaeagnoides* Radlk. (Camboatá-branco) e *Allophylus edulis* (Chal-chal) (RIO GRANDE DO SUL, 2002).

Na região da Quarta Colônia de Imigração Italiana, no centro do Estado, Brena e Longhi (2002) verificaram a existência de 10952 árvores por hectare, sendo que 10100 na regeneração natural, e 852 no componente arbóreo, com CAP maior que 30 cm. As espécies que apresentaram o maior Valor de Importância Ampliado (VIA) foram *Cupania vernalis*, *Allophylus edulis*, *Nectandra megapotamica* e *Casearia silvestris*, entre outras. As árvores mortas representaram 4,2% do VIA.

Em São João do Polêsine, em uma Floresta Estacional Decidual, na região central do Rio Grande do Sul, Mattos (2007) verificou que *Cupania vernalis* foi a espécie mais com maior Valor de Importância, tendo respectivamente 41,18 e 47,47 % do total, nos estágios de Capoeira e Capoeirão.

Avaliando a composição florística e das categorias sucessionais do estrato arbóreo de três subseres denominadas Capoeirão, Floresta Secundária e Floresta Madura, em uma Floresta Estacional Decidual, no município de Santa Tereza, na região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, Vaccaro (1997) verificou que o número de árvores diminui à medida que a população envelhece e as árvores cresce m. O autor averiguou que no estágio de Capoeirão havia 4615 árvores por hectare, enquanto que na Floresta Madura este valor diminuiu para 2235 árvores. Já a área basal passou de 20,75 para 56,89, m<sup>2</sup>/ha.

A diminuição no número de árvores com o aumento da idade da população também foi constatado por Carvalho Jr. (2002), que descreveu e caracterizou as diferentes subseres de desenvolvimento da vegetação em estágio inicial (capoeiras) no Rio Grande do Sul. Este autor constatou que na Capoeirinha existiam 14501 árvores por hectare, com uma área basal de 9,28 m<sup>2</sup>, já no Capoeirão, o número de

árvores era de 6500 por hectare, enquanto a área basal aumentou para 46, 52 m<sup>2</sup> por hectare.

### 3.2 Autodesbaste

O autodesbaste é a redução no número de árvores devido à mortalidade causada pela densidade. A máxima relação densidade-tamanho é um componente do autodesbaste que quantifica a densidade máxima que pode ocorrer para uma determinada dimensão média das árvores (VANDERSAHAFF, 2006). De acordo com Johnson *et al.* (2002), o autodesbaste é um processo natural, cujo princípio pode ser mais facilmente descrito como uma mudança temporal no número de árvores, que acontece em populações florestais equiâneas ou inequiâneas. Conforme este princípio, um espaço de crescimento finito é ocupado progressivamente por menos árvores, à medida que elas crescem em tamanho, com a idade. Isso acontece porque, sem ter espaço suficiente para crescer, os indivíduos, cuja capacidade de competir por recursos é menor, morrem em virtude do aumento da competição e da supressão, conforme as populações florestais aproximam-se do número limite de árvores de certo tamanho, que possam coexistir em uma determinada área.

A densidade de uma população florestal pode ser definida com uma medida da ocupação do sítio, indicando o grau de aproveitamento dos recursos (água, luz, nutrientes) pelas plantas. Conforme Spurr (1952) existem várias maneiras de expressar a densidade de uma população florestal, como o número de árvores por unidade de área, a área basal que, apesar de dar uma boa idéia da densidade, não indica se este total surge de muitas árvores pequenas ou poucas árvores grandes. Por isso, o autor sugeriu que a área basal fosse desmembrada em número de árvores por hectare e o diâmetro da árvore de área basal média, fornecendo uma informação sobre a dimensão das árvores do povoamento.

Uma das variáveis que podem ser utilizadas para expressar o tamanho das árvores é a biomassa de um povoamento, que em uma dada densidade, em povoamentos equiâneos, também expressa uma proporção da máxima biomassa atingível em certa densidade do povoamento, refletindo o grau de ocupação do sítio, ou seja, a medida de como o povoamento ocupa o espaço de crescimento e os recursos disponíveis entre diferentes ambientes. Antes de ocupar completamente o

sítio, os indivíduos do povoamento crescem normalmente, sem a necessidade de sacrificar indivíduos para um crescimento adicional (Bi *et al.*,2000).

Os primeiros estudos que relacionaram o número de árvores de uma população florestal e o seu tamanho foram feitos por Reineke (1933), com o índice de densidade, cujo coeficiente angular foi -1,605; a regra de D-máximo de Mitchell (1943); o método da percentagem da altura de Wilson (1946) e a lei do autodesbaste, com o valor de -3/2 ou -1,5 para o coeficiente angular, feita por Yoda *et al.* (1963).

Zeide (1987) sugeriu que para relacionar o número de árvores com uma expressão do tamanho da árvore média, fosse utilizado o diâmetro quadrático médio, ao invés do volume ou biomassa da árvore média. Para Del Río *et al.* (2001), o diâmetro apresenta uma maior capacidade para responder às variações na densidade, em função de uma forte correlação com a largura de copa. Ademais, o diâmetro médio quadrático pode ser medido mais facilmente e com maior precisão que o volume e a biomassa.

Em face do exposto, verifica-se a importância de estabelecer uma relação entre a densidade e o tamanho dos indivíduos, como por exemplo, as relações entre o diâmetro da árvore de área basal média ( $d_g$ ) e a densidade, ou o  $d_g$  e a área basal máxima do povoamento. Neste sentido, o diâmetro médio ou o diâmetro da árvore de área basal média ( $d_g$ ), que são de fácil obtenção, poderiam ser usados. Em conformidade com Schneider (2008), em plantações, o  $d_g$  é um pouco maior que o diâmetro médio aritmético, cerca de 0,25 a 1,27 cm, podendo ser substituído pelo diâmetro médio aritmético. Caso exista uma grande diferença de árvores pequenas e grandes no povoamento, como normalmente ocorre em populações florestais inequiâneas, o diâmetro médio aritmético não fornece precisão e o diâmetro da árvore de área basal média deve, em função disso, ser calculado e usado.

O diâmetro da árvore de área basal média pode ser obtido pela equação:

$$d_{gi} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_i / N_i}{\pi}} * 100$$

Onde :  $d_{gi}$  = diâmetro da árvore de área basal média da  $i$ -ésima unidade amostral;  $G_i$  = área basal por hectare da  $i$ -ésima unidade amostral;  $N_i$  = número de árvores por hectare da  $i$ -ésima unidade amostral.

Segundo Reineke (1933), para populações florestais que apresentam mortalidade devido à competição entre indivíduos, ou seja, com densidade máxima, existe uma relação linear em escala de duplo logaritmo, entre o número de árvores por hectare e o diâmetro médio quadrático, com um valor constante do coeficiente angular de -1,605, para todas as espécies. O intercepto, por sua vez, varia entre as espécies. Esta curva é representada pela função:

$$\ln N = b_0 - 1,605 \ln (dg)$$

Onde: N é o número de árvores por hectare, e dg é o diâmetro médio quadrático do povoamento (cm).

Reineke (1933) considerou que os parâmetros da equação são independentes da idade e da qualidade do sítio. Por isso, esta equação é usada para estimar a densidade populacional como uma função do diâmetro médio.

Todavia, em estudo realizado por Del Río *et al.* (2001) sobre a taxa de autodesbaste em *Pinus*, os autores constataram que houve uma variação do coeficiente angular em função das espécies e, muitas vezes, com a idade, com valores variando entre -2,33 e -1,54.

Por sua vez, Márquez-Linares e Alvarez-Zagoya (1995) verificaram que houve uma variação no coeficiente angular da equação de Reineke com a classe de copa para *Pinus cooperi* var. *ornelasi*, no México. Os valores foram de -1,4271 para árvores livres, -1,6102 para árvores dominantes, -1,7974 para intermediárias e de -1,9102 para árvores suprimidas.

Weiskittel *et al.* (2009) verificaram que o intercepto da equação de Reineke (1933) para as espécies estudadas (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*, *Tsuga heterophylla* e *Alnus rubra*) foi significativamente influenciado pelo índice de sítio, origem e pureza (% de área basal ocupada pela espécie dominante) do povoamento.

Segundo Reineke (1933) com o coeficiente angular da equação proposta por ele, é possível determinar o chamado Índice de Densidade do Povoamento (IDP), que é uma medida de densidade que combina o número de árvores por unidade de área e o diâmetro médio quadrático.

O índice de densidade do povoamento usa variáveis de fácil obtenção, pode ser comparado entre povoamentos de diferentes idades e classes de sítios, pode ser

utilizado para toda uma região ou somente para as florestas de uma empresa, para uma determinada espécie ou para povoamentos mistos (TÉO *et al.* 2008).

Segundo Schneider (2008), o Índice de Densidade do Povoamento corresponde à relação entre o número de árvores observadas no povoamento e a de um normal, porém ambos com o mesmo diâmetro de área basal média. Esse é o número de árvores por unidade de área que um povoamento pode ter para alcançar um diâmetro de área basal média, fixada convencionalmente como objetivo. Os povoamentos de uma mesma espécie, em habitats distintos, tendem a diferentes limites de densidade, mas a tendência será sempre semelhante. Por este motivo, são gerados índices de densidade do povoamento com limites paralelos, para diferentes níveis de densidade de árvores por unidade de área.

O desenvolvimento de uma estimativa para o máximo índice de densidade do povoamento em escala estratégica foi estudado por Woodall *et al.* (2005). O IDP máximo de cada espécie variou de acordo com composição florística do povoamento estudado. Estes autores apuraram que partindo de povoamentos heterogêneos para povoamentos puros a taxa de aumento do IDP máximo, para cada espécie estudada, parece ser maior para espécies pioneiras quando comparado às espécies mais tolerantes à sombra.

Além da equação de Reineke (1933), a linha de autodesbaste tem sido expressa, conforme Solomon e Zhang (2002), pelas seguintes equações:

$$\ln(\text{VM}) = a - 1,5 \cdot \ln(N) \rightarrow \text{Drew; Flewelling (1979);}$$

$$\ln(W) = b - 0,5 \ln(N) \rightarrow \text{Zeide (1987);}$$

$$\ln(\text{dg}) = c - 0,625 \cdot \ln(N) \rightarrow \text{Jack; Long (1996);}$$

Nas equações VM é o volume da árvore média, W é a biomassa da árvore média, dg é o diâmetro quadrático médio, e “a”, “b,” “c” são os interceptos de cada modelo.

Desde que a forte relação entre a densidade e o diâmetro médio de um povoamento foi descoberta, as equações de densidade-tamanho tornaram-se uma importante ferramenta de análise para Engenheiros Florestais e ecólogos (JACK e LONG, 1996). Porém para que esta ferramenta possa ser usada corretamente, é preciso tomar alguns cuidados na seleção dos dados e no ajuste da referida equação.

Os dados usados para estimar a máxima relação densidade-tamanho devem ser cuidadosamente selecionados. A utilização de dados de povoamentos com densidade média, que ainda não atingiram o estágio de autodesbaste, diminuirá a inclinação da linha. Além disso, é possível que parcelas de menor densidade não tenham o estágio de autodesbaste. Assim sendo, estes dados não deveriam ser incluídos para estimar a curva de autodesbaste (OSAWA e ALLEN, 1993).

Deve-se ainda acrescentar que Sterba e Monserud (1993) indicaram que é difícil encontrar populações florestais em densidade máxima, já que, frequentemente, as mesmas não alcançam esta densidade devido a fatores que interferem na mortalidade natural das árvores.

Em pesquisas silviculturais e ecológicas, às vezes, deseja-se avaliar a densidade do povoamento que afeta um determinado ponto, conforme afirma Spurr (1962). Este autor sugere a adoção do método de soma angular para determinar a densidade pontual em povoamentos florestais. Em seu trabalho, cita vários motivos para que os métodos de área fixa não sejam empregados para esta finalidade. Segundo o autor, a área basal é variável com o tamanho da amostra e, além disso, com a utilização do método de parcelas, todas as árvores contribuem para a densidade de maneira direta ao seu tamanho, sem levar em consideração a sua localização em relação ao ponto avaliado.

A escolha deste método para a obtenção da densidade justifica-se pelo fato de ser muito difícil encontrar população florestal que esteja em alta densidade de maneira homogênea e em toda a sua extensão. Por este método, é possível estimar a densidade a partir de uma situação localizada, da identificação de locais na floresta que apresentem mortalidade induzida pela competição (THOMAS, 2009). Deve-se, ademais, acrescentar que este método permite que várias amostras sejam tomadas em uma área relativamente pequena, que esteja em alta densidade.

Outro motivo para a seleção intencional, é que de acordo com Kageyama (1987), as florestas nativas podem ser encaradas como um grande mosaico formado por retalhos de diferentes idades, tamanhos e composição de espécies. Esse fato está relacionado à discussão sobre a sucessão secundária, já que esse mosaico conteria trechos em diferentes estágios sucessionais, sendo altamente importante para entender a diversidade e a estrutura das florestas tropicais e, portanto, a sua conservação.

O “método de adição angular” de Spurr (1962) é um exemplo de uma técnica que fornece uma medida de densidade pontual. O método envolve a seleção sob um ponto ou sob uma árvore na qual se deseja determinar o grau de competição de árvores circunvizinhas. Usando-se a teoria básica de Bitterlich (amostra de contagem angular), cada árvore competida é imaginada como uma linha divisória dos pontos ou das árvores escolhidos, assim, há um fator de área basal específico. A medida de densidade pontual é obtida corretamente somando uma série de estimativas de áreas basais por hectare, usando estas árvores.

O método proposto por Spurr (1962) não é indicado para estimar a densidade média em um inventário florestal, mas é muito recomendado para a medição da densidade em pontos individuais para pesquisas silviculturais ou ecológicas.

Independente da origem de dados, a determinação precisa da trajetória de autodesbaste para qualquer população permanece uma tarefa difícil. Alguns dos problemas são inerentes aos dados, especialmente aqueles obtidos usando parcelas temporárias. Primeiro, em uma determinada amostra só uma fração do povoamento está, de fato, em um verdadeiro estado de autodesbaste. O restante é menor que o otimamente estocado por várias razões. Por exemplo, é incomum achar povoamentos regenerados à densidade suficientemente alta, como aquela em que eles estão na máxima densidade relativa em idades jovens. Em povoamentos mais velhos, insetos, doença e outras perturbações podem reduzir o estoque mais rapidamente que o povoamento residual pode reocupar espaço de crescimento. Em ambos os casos é necessário checar os dados ou aplicar métodos que são insensíveis a observações em condições de subestocagem (SHAW, 2006).

Schneider (2008) agrega ainda que pesquisas sobre o fechamento das copas das árvores demonstraram que a densidade do povoamento não permanece constante, mas tende a decrescer no tempo. A densidade do povoamento e o fechamento de copa são uma consequência de dois processos opostos: o crescimento lateral dos ramos e das raízes, o qual incrementa o fechamento e a mortalidade de indivíduos, como decorrência da máxima competição. Por outro lado, esse mecanismo assume muitos resultados e diminui com a tolerância das árvores em face do sombreamento.

Em economia, o conceito de produção pode ser entendido genericamente como o processo de transformar um conjunto de insumos em um grupo de produtos. Este processo assemelha-se ao crescimento de uma população florestal, onde as

árvores utilizam água e nutrientes para produzir biomassa, por meio da fotossíntese (Bi *et al.*, 2000).

Os mesmos autores mencionam que a análise da relação densidade-tamanho mostra quais populações florestais são mais eficientes na utilização dos recursos disponíveis no sítio em que estão localizados, principalmente na ocupação do espaço de crescimento disponível.

A mortalidade dos indivíduos em uma população florestal pode acontecer antes deles atingirem a densidade necessária para que ocorra o autodesbaste. Neste caso, a morte das árvores pode ser induzida por fatores externos como variações climáticas, extremos climáticos como vendavais, granizo, etc., ataques de insetos, doenças, e/ou outras variações no ambiente em que cada população florestal se desenvolve (JOHNSON *et al.*, 2002).

Confirmando isso, Tang *et al.* (1994), que estenderam a lei do autodesbaste para povoamentos em densidade completa e subestocados, constataram que o autodesbaste inicia antes do povoamento atingir a máxima densidade e que se intensifica com o aumento da densidade, atingindo o máximo autodesbaste na densidade máxima.

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

Historicamente vários métodos de regressão foram utilizados para ajustar o modelo de máxima densidade. Entre os quais o ajuste manual (REINEKE, 1933; YODA *et al.*, 1963), regressão dos mínimos quadrados ordinários, mínimos quadrados ponderados, análise de fronteira estocástica (Bi *et al.* 2000), entre outros.

A técnica de ajuste manual consiste em traçar à mão uma linha que passe pelos pontos de máxima densidade, plotados em escala duplo logarítmica. Esta técnica foi empregada por vários autores (DREW e FLEWELLING, 1979; REINEKE, 1933). Para ajustar manualmente o modelo de Reineke, Zhang *et al.* (2005) utilizaram as coordenadas x e y das duas parcelas de maior densidade para calcular os coeficientes  $b_0$  e  $b_1$  da equação.

Como não há um procedimento estatístico estabelecido para selecionar parcelas adequadas para estimar os dois coeficientes da máxima relação tamanho-

densidade (BI e TURVEY, 1997), Solomon e Zhang (1998, 2002) adotaram a densidade relativa das parcelas para fazer tal seleção. Eles assumiram que o coeficiente angular da relação  $\ln(\text{VM})$  e  $\ln(N)$  é -1,5, determinaram o intercepto e, para tal, utilizaram a equação  $\ln(\text{VM}) = -1,5 \ln(N) + b_0$ , (onde VM é o volume da árvore média, e N é o número de árvores por hectare), usando a parcela com maior combinação  $\ln(\text{VM})$  e  $\ln(N)$ . A equação determinada foi usada para calcular a densidade máxima do povoamento ( $N_{\text{max}}$ ) para o volume da árvore média de uma determinada parcela. O índice de densidade relativa foi calculado por  $N_i/N_{\text{max}}$ , onde  $N_i$  é o número atual de árvores da iésima parcela. A densidade relativa foi computada para cada parcela e foram selecionadas parcelas cuja densidade relativa fosse maior que 0,7 para desenvolver a máxima relação entre a densidade e o tamanho.

Um dos métodos mais utilizados para estimar a fronteira de máxima densidade é o método dos mínimos quadrados ordinários corrigidos. Por meio deste método estima-se uma curva média para a nuvem de pontos. Para garantir que a linha de máxima densidade estimada envolva todos os dados e passe pelo ponto de maior densidade, o intercepto calculado pelo método dos mínimos quadrados ordinários é ajustado até que todos os resíduos sejam negativos, exceto um. A estimação da fronteira por este método é facilmente atingida, corrigindo-se o intercepto para o ponto de máxima de densidade. Mas, como apenas o intercepto é corrigido, a linha de máxima densidade será paralela à linha de tendência central estimada (ZANINI, 2004).

Alguns autores brasileiros empregaram este método para ajustar a linha de máxima densidade, podendo-se citar, entre eles Schneider (2008), Schneider *et al.* (2008), Selle (2009), Thomas (2009), Téo *et al.* (2008).

Em um estudo avaliando o autodesbaste em uma sucessão da vegetação após a ocorrência de um incêndio, na Califórnia (Estados Unidos da América), Guo e Rundel (1998) concluíram que os resultados por ele obtidos, usando uma aproximação do limite superior do autodesbaste, admitem a ideia de que o autodesbaste é controlado pela competição.

Em conformidade com os autores referidos, a inclinação da linha autodesbaste obtida por meio de análise de regressão pode ser afetada por múltiplos fatores, podendo variar grandemente entre espécies e idades. Por isso, a análise de regressão não é um método apropriado para avaliar a taxa de

autodesbaste, contudo, poderia ser muito útil para identificar a presença de outros fatores que afetam o desenvolvimento de comunidades.

Por isso Bi *et al.* (2000) e Bi (2001, 2004) valeram-se da função de fronteira estocástica de produção para estimar a linha de autodesbaste para povoamentos puros e equiâneos de *Pinus*. Os pesquisadores concluíram que, para esta análise, todos os dados foram utilizados, sem uma seleção subjetiva, gerando uma eficiente estimativa do limite superior da linha de autodesbaste.

A análise de fronteira estocástica foi originada da análise econômica de produtividade e eficiência, onde a produção pode ser entendida como o processo de transformar um conjunto de insumos em produtos. A fronteira estocástica de produção representa um limite superior não observável de um máximo possível de produtos para certo número de insumos, conforme anota Bi (2004).

Segundo Coelli (1996), a abordagem econométrica para estimar a fronteira estocástica foi, primeiramente, sugerida por Aigner *et al.* (1977) e Meeusen e van den Broeck (1977). A proposta original envolve uma função de produção específica, para dados que têm um termo de erro com dois componentes, um mostrando efeitos aleatórios e outro a ineficiência técnica.

Um modelo de fronteira de produção estocástica decompõe o produto em dois componentes, o primeiro é um componente determinístico que inclui a função de produção e outras variáveis que afetam a produtividade, o segundo é um termo de erro constituído por dois componentes. Um dos componentes do erro é normalmente distribuído, representando aquilo que não pode ser controlado pelas firmas, ou seja, o distúrbio aleatório. O outro é um componente de erro assimétrico que representa a ineficiência de cada agente, medindo a distância da fronteira (MEDRANO, 2008).

A fronteira da biomassa, que pode ser extrapolada para o diâmetro, também pode ser comprometida por fatores externos como variações do solo e das condições climáticas, ataques de insetos, doenças e outras mudanças específicas no ambiente em cada povoamento, no tempo. Os efeitos destes fatores externos sobre a fronteira são aleatórios entre as observações, sendo independentes dos efeitos da densidade sobre o crescimento e a mortalidade (BI *et al.*, 2000).

Nas florestas, qualquer desvio em relação à fronteira máxima da relação densidade-tamanho, pode ser atribuído a uma ocupação ineficiente do sítio, ou seja, povoamentos que estão subestocados. Além disso, estes desvios podem ser resultado de fatores aleatórios, fora do controle dos produtores, ou seja, fatores

independentes da densidade que interferem na produtividade do sítio (Bl *et al.*, 2000). Esta fronteira pode ser expressa por:

$$\ln(N_i) = a + b \cdot \ln(dg_i) + (V_i + U_i)$$

Onde;  $N_i$ , número de indivíduos do  $i$ ésima parcela;  $dg_i$  é um vetor dos diâmetros quadráticos médios do  $i$ ésima parcela;  $V_i + U_i$  é o termo de erro composto, em que o primeiro captura o efeito da ineficiência técnica e o segundo identifica qualquer choque aleatório fora do controle do produtor.

Para comparar a capacidade de métodos alternativos em estimar o limite superior da linha de autodesbaste e, avaliar a qualidade dos parâmetros, Zhang *et al.* (2005) utilizaram o ajuste manual como uma linha guia, à qual todas as linhas obtidas pelos demais métodos foram comparadas. Para esta comparação, os autores não utilizaram ferramentas estatísticas, como o coeficiente de determinação, o coeficiente de variação, o erro padrão de estima, entre outros.

A partir dos modelos matemáticos que expressam a relação entre o número de indivíduos por unidade de área e o diâmetro médio das árvores, obtém-se a área basal máxima que uma população florestal pode alcançar. Com base nesta variável, pode-se obter o número máximo de árvores por hectare e o diâmetro da árvore de área basal média e, assim, construir a curva de densidade máxima. Esta curva é uma relação teórica, que descreve a trajetória seguida pelo número de indivíduos daqueles povoamentos que se encontram em completa ocupação do sítio. Este é o nível máximo de concorrência, que é empregado como indicador do limite superior de estoque do povoamento (GEZAN *et al.*, 2007).

Uma ferramenta empregada no manejo florestal são os dendrogramas gerados a partir do nível máximo de concorrência. Neste sentido, Gezan *et al.* (2007) assinalam que os dendrogramas estão baseados na curva de máxima densidade e neles são incluídas várias linhas paralelas, proporcionais ao nível de densidade máxima de sítio. Para isso, modifica-se a equação que gera a máxima densidade, multiplicando-a por uma constante que varia entre 0 e 1. E, ainda, incluem-se retas como referências para indicar os diferentes diâmetros quadráticos.

Conforme Gezan *et al.* (2007), os dendrogramas de densidade descrevem, graficamente, a relação existente entre a área basal, o número de árvores por hectare e o diâmetro médio, incluindo uma série de curvas de referência para vários níveis de ocupação do sítio. O uso de dendrogramas permite descobrir a situação

atual de um povoamento e compará-lo com condições predeterminadas, de acordo com o objetivo de manejo previamente especificado (ROGERS, 1983). Por este motivo, o dendrograma de manejo é considerado uma ferramenta valiosa, que facilita o planejamento e o monitoramento de intervenções silviculturais, maximizando a utilização do sítio, mediante um controle adequado dos níveis de concorrência do povoamento.

O dendrograma é uma forma prática e eficiente de demonstrar a densidade populacional e, também, é de grande importância na orientação para intervenções de desbaste. O dendrograma é de fácil entendimento e a densidade pode ser lida tanto em área basal, quanto em número de árvores (THOMAS, 2009).

Outro método utilizado para representar linhas de densidade, no dendrograma, é o Índice de Densidade do Povoamento (IDP). A densidade de árvores por hectare, por diâmetro médio, é gerada por proporção, tendo como base a densidade de árvores por hectare no diâmetro padrão de 10 polegadas. As linhas são concebidas para intervalos fixos em número de árvores (REINEKE, 1933).

Para os diagramas, podem ser definidas várias curvas de referência, que são básicas para planejar intervenções silviculturais e definir esquemas de manejo (Figura 1). A curva "A" correspondente à curva de máxima ocupação do sítio, uma segunda linha "B", que representa o limite inferior para o início do autodesbaste, e uma linha "D", que corresponde ao limite inferior da ocupação do sítio (GEZAN *et al.*, 2007).

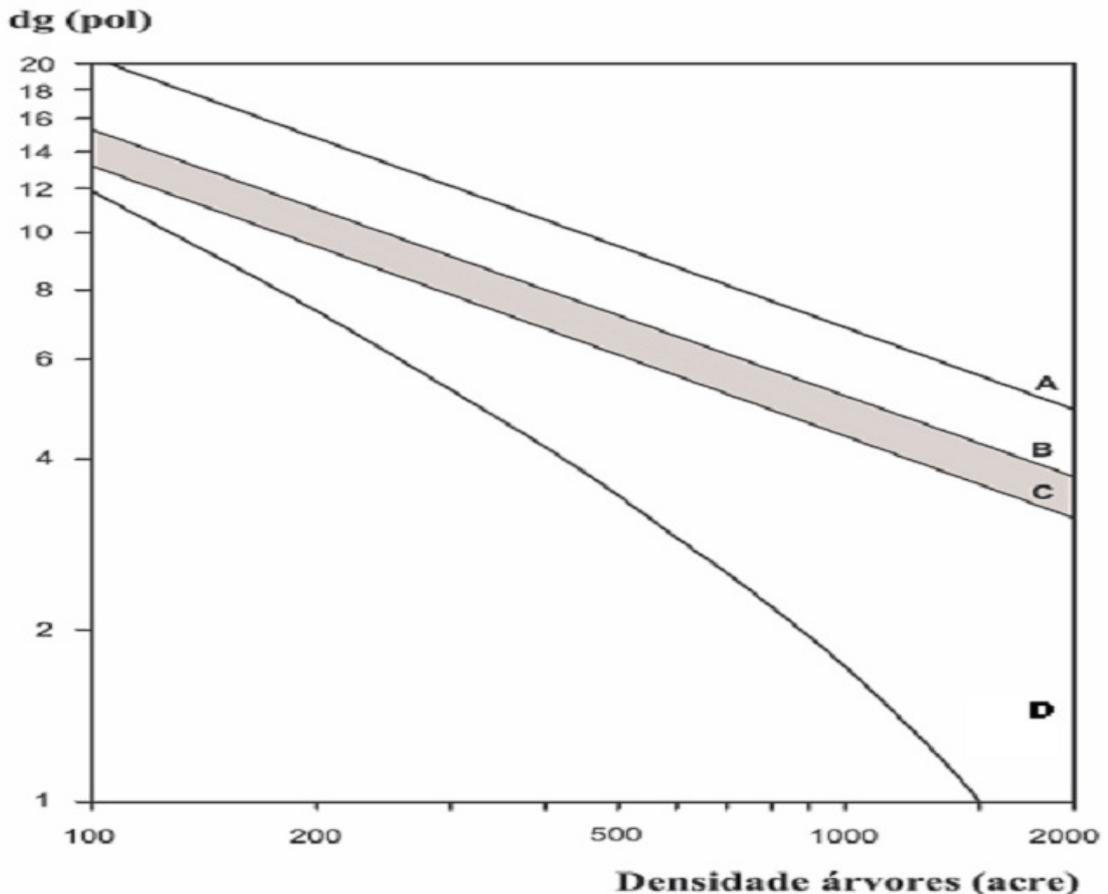


Figura 1: Diagrama de Manejo da Densidade (DMD): “A” – Linha de máxima densidade e diâmetro, “B” – início da mortalidade, “C” – máxima produtividade do povoamento, “D” – ocupação das copas, “C”-“B” - Faixa escura, zona de manejo com estoque completo almejado. Fonte: Saunders e Puettmann (2000).

Long e Smith (1985) consideraram que, na densidade representada pela linha “B”, inicia a mortalidade provocada pela competição por recursos. Esta linha representa o nível em que se dá a ocupação completa do sítio (ROGERS, 1983). A linha “D”, por sua vez, mostra o momento em que, de acordo com Dean e Baldwin (1993), acontece o fechamento das copas e começa a competição entre os indivíduos. A diferença desta para a linha “B”, é que ela ainda não induz à mortalidade (GEZAN *et al.*, 2007).

A linha de fechamento do dossel corresponde ao momento em que as copas se tocam, e começa a concretizar-se a competição entre os indivíduos pelos recursos. Para determinar a linha de densidade de fechamento do dossel, Thomas (2009), SELLE (2009) obtiveram esta linha pelo levantamento das copas de árvores livres de concorrência, usando a metodologia proposta por Krajiceck *et al.* (1961).

Harrington (1997) verificou que o fechamento do dossel em plantios de *Pinus taeda* L. faz-se com aproximadamente 25 % da densidade máxima. Já para o início da mortalidade de árvores devido à competição entre os indivíduos, recomendou o valor de 55% de densidade relativa.

Para *Pinus elliottii*, Thomas (2009) observou que a linha de fechamento do dossel, que delimita o final do crescimento livre e o início da competição, representou 32% da densidade máxima. Já Saunders e Puettmann (2000), encontraram para este ponto de desenvolvimento de um povoamento de *White spruce* (*Picea glauca* (Moench Voss), o valor de 40% da densidade máxima possível, de modo que este ponto marca o início da ocupação completa do sítio e o princípio da produção máxima. Povoamentos em densidade menor que esta são classificados como povoamentos subestocados.

Para a linha de início da mortalidade, Chauchard *et al* (1999), por meio da utilização de parcelas permanentes para estudar o autodesbaste em povoamentos de *Nothofagus*, constataram que a mortalidade iniciou com 33 % da densidade máxima. Em estudo avaliando a mortalidade em povoamentos de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild), Schneider *et al.* (2005) confirmaram que a morte dos indivíduos correlaciona-se positivamente com o crescimento em diâmetro médio, altura média, altura dominante, área basal, relação altura média sobre o diâmetro à altura do peito (h/d), espaço vital e volume, indicando que a medida que essas variáveis crescem, aumenta a mortalidade em decorrência da maior competição por luz, água e nutrientes entre as árvores do povoamento.

A maioria dos pesquisadores projeta as linhas de densidade algebricamente, a partir da definição da linha de autodesbaste, sem diferenciação entre coníferas e folhosas. Na literatura, as recomendações são em relação à densidade máxima (100% de ocupação), às densidades teóricas de 55% para o início da mortalidade, de 45% para a máxima produção do povoamento e de 15 a 25% para a linha que identifica o fechamento das copas (SELLE, 2009).

Segundo Ginrich (1967), o Diagrama de Densidade de um povoamento pode ser definido por faixas de estocagem: **Faixa superestocada** – em que a densidade é extremamente excessiva; **Faixa totalmente abastecida** – em que as árvores ainda têm espaço disponível para se desenvolver, porém esse espaço é manejado para se ter o máximo de aproveitamento; **Faixa subestocada** – em que a densidade é baixa e o povoamento apresenta espaços disponíveis.

O mesmo autor, ao trabalhar com carvalhos, cita que em seu estudo, a linha “A” corresponde a 100% da lotação plena do sítio e que a linha “B” situa-se entre 55 e 58% desta lotação. Também salienta que árvores dominantes da espécie “carvalho vermelhos de planalto” crescem perto do nível “B” com lotação de 63 a 42%, já a espécie “carvalhos brancos de planalto” variou de 25 a 10%, na faixa “A”-“B”. Para ele, a espécie leva, do nível de lotação “C”, que para ele representou o fechamento das copas, até o nível “B”, em sítios médios, de 12 a 15 anos e, de 5 a 8 anos em sítios bons. Segundo o pesquisador, a tendência em chegar à lotação completa é muito mais rápida em povoamentos jovens.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização do local de estudo

Os dados para o estudo foram inventariados em uma área localizada no município de Silveira Martins, localizado na região Central do Rio Grande do Sul, numa faixa transitória entre o Planalto Médio e a Depressão Central, ainda que a maior parte da área do município situa-se no Planalto Médio, como mostrado na Figura 2.

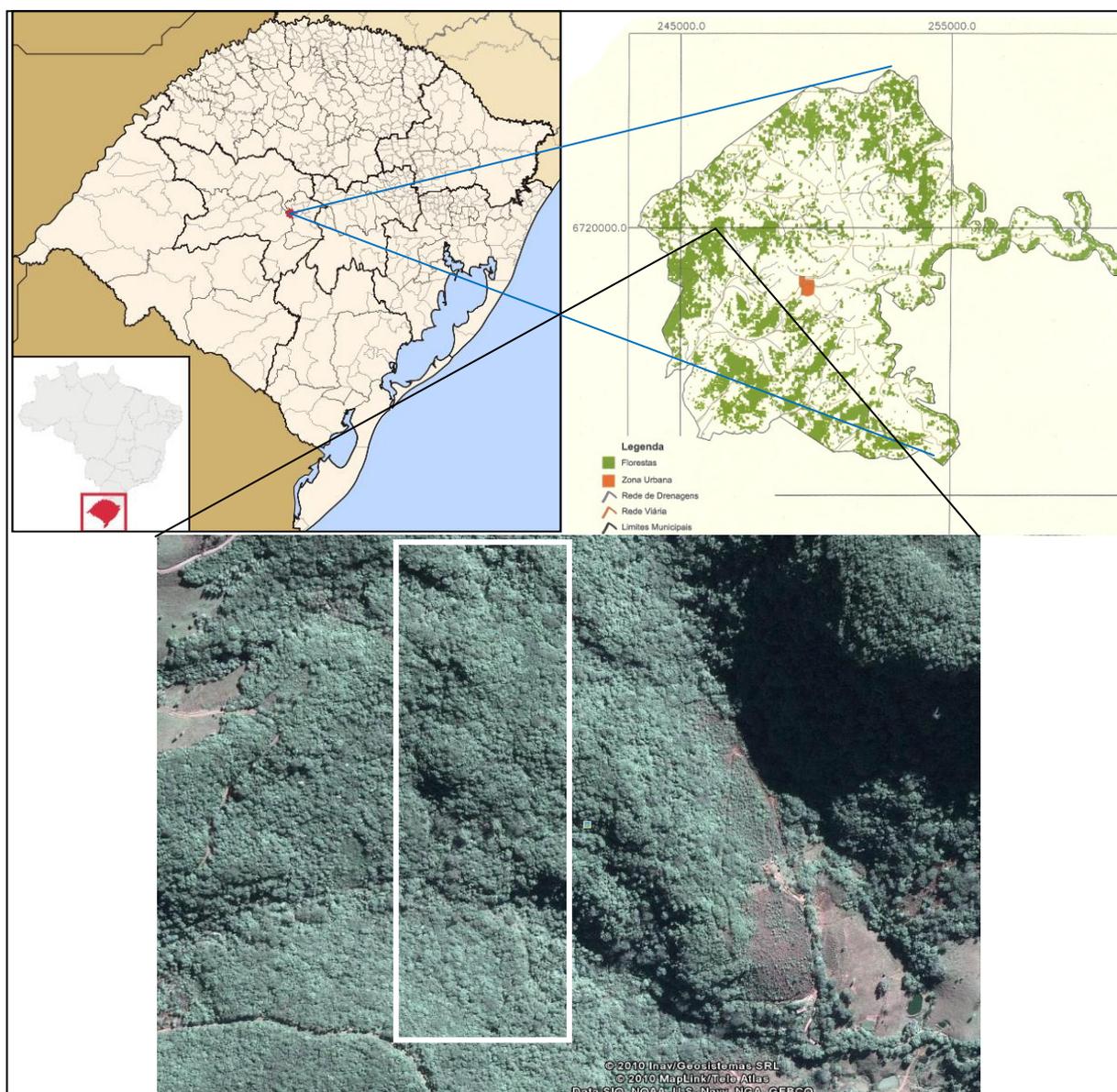


Figura 2: Localização da área de estudo. Adaptado de Wikipédia (2010), Pereira et al. (2002) e Google earth (2010).

O clima mesotérmico e úmido da região, conforme a classificação de Köpen, é do tipo fundamental Cfa, caracterizado como subtropical úmido, com verões quentes, sem estação seca definida, acumulando uma precipitação média de aproximadamente 1712 mm anuais (MORENO, 1961; HELDWEIN *et al.*, 2008). Apesar das precipitações médias elevadas, são frequentes períodos de déficit hídrico, principalmente nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro, quando, devido às altas temperaturas, há elevada perda de água por evapotranspiração (DALMOLIN *et al.*, 2008).

Na região, o verão, é bastante quente, com média mensal normal das temperaturas máximas diárias do ar de 29,5°C, nos meses de dezembro a fevereiro. O inverno, por sua vez, é ameno, mas sujeito a ondas de frio provocadas pelo deslocamento de anticiclones polares migratórios, podendo causar geadas, por vezes, intensas (HELDWEIN *et al.*, 2008).

O relevo da região de Silveira Martins constitui-se da seguinte forma: o planalto caracterizado pelas altitudes superiores a 400m e relevo suavemente ondulado. O rebordo do planalto, montanhoso e com as escarpas abruptas, onde são comuns vales estreitos em forma de “V”, com altitude entre 200 e 400 m e a Depressão Central, com altitudes inferiores a 150 m, planas ou suavemente onduladas, formando as conhecidas coxilhas sedimentares (MÜLLER, 1970).

Segundo Machado (2003), verifica-se que 21 % da área territorial de Silveira Martins apresentavam-se em declividades entre 8 e 20 %, enquanto que quase a metade das terras do município (45%) apresentavam declividade maior que 45%, demonstrando a fragilidade das terras devido a limitações referentes à erosão e ao deslizamento de encostas e mecanização.

De acordo com Brena e Longhi (2002) o município de Silveira Martins caracteriza-se por uma cobertura florestal de 37,60 Km<sup>2</sup>, que corresponde a 30,7 % do território. A vegetação da região pertence ao domínio da Floresta Estacional Decidual (VELOSO, 1992) e é formada por fragmentos em diferentes estágios sucessionais.

No que se refere à economia do município, Baratto (1992; 1994) registrou que como base o setor primário, destacando a batata inglesa como principal cultura comercial, além de milho, soja, feijão e o cultivo de hortaliças. Na região, predominam as propriedades do tipo minifúndio diversificados, com integração entre agricultura e pecuária.

O solo predominante na região é o Neossolo Litólico Húmico típico (EMBRAPA, 2006), que são solos pouco profundos, bem drenados, sendo encontrados entre as superfícies onduladas do início do Planalto. O uso destes solos é dominado por pastagens, culturas anuais e áreas de vegetação secundária. São solos aptos a usos menos intensivos, principalmente à silvicultura (DALMOLIN *et al.*, 2008).

A propriedade utilizada para o estudo possui aproximadamente 15 ha, localiza-se nas seguintes coordenadas geográficas: (latitude S 29°37'36" e longitude W 53°37'10") com altitude variando entre 320 e 390 m. A vegetação da área é uma floresta secundária, resultado do abandono de lavouras. Segundo o proprietário da área, esta não é cultivada há pelo menos 15 anos. Desde então, ela está regenerando-se.

A atual vegetação da área estudada é formada, principalmente, por camboatá-vermelho (*Cupania vernalis* Cambess.), canela-do-brejo (*Machaerium paraguariense* Hassl.), angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan), canela-preta (*Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez), sabão-de-soldado (*Quillaja brasiliensis* (A.St.-Hil. & Tul.) Mart.), cedro (*Cedrela fissilis* Vell.), timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong), carvalhinho (*Casearia sylvestris* Sw.), entre outras.

Para facilitar as análises, foram tomadas amostras de áreas dominadas pelo camboatá-vermelho.

#### **4.2 Descrição da espécie dominante**

A espécie *Cupania vernalis* Cambess, popularmente conhecida como camboatá-vermelho, camboatá, cuvantã, arco-de-peneira, pertence à família Sapindaceae.

O camboatá vermelho é uma árvore perenifólia de médio porte, de 10 a 25 m de altura, e 40 a 60 cm de diâmetro (DAP), podendo atingir 80 cm. O tronco geralmente é tortuoso, muitas vezes, apresentando nós, com um fuste de 5 a 7 m de comprimento, com casca externa escura, leve e ligeiramente fissurada nas árvores adultas ou velhas. A casca interna é levemente rosada, quando cortada, oxida-se, adquirindo um aspecto de ferrugem, que contrasta com o branco do alburno. A

espécie apresenta, ainda, uma copa larga e irregular, com uma densa folhagem verde-escura (REITZ *et al.*, 1983; CARVALHO, 2006).

Carvalho (2006) indica que a espécie ocorre naturalmente entre as latitudes 3ºN, em Roraima, a 31,5ºS, no Rio Grande do Sul. O camboatá-vermelho foi observado em locais com altitude que varia de 30 m a 1.300 m. Ocorre também no Norte da Argentina, no sul da Bolívia, no leste do Paraguai e norte do Uruguai No Rio grande do Sul, em conformidade com Reitz *et al.* (1983) pode ser mapeada em praticamente todas as formações florestais, tanto primárias quanto secundárias. Seus exemplares são encontrados nos sub-bosques da Floresta Ombrófila Mista, na Floresta Estacional Decidual do Alto Uruguai, da Fralda da Serra Geral e do Alto Ibicuí, no Escudo Rio-grandense e na Floresta Ombrófila Densa.

É uma espécie secundária inicial à tardia (CARVALHO, 2006), heliófila ou de luz difusa, muito tolerante ao sombreamento, sendo frequente nos sub-bosques pouco desenvolvidos e escassamente densos dos pinhais. É, igualmente, comum nos capoeirões e nas matas abertas, situadas em solos íngremes, rochosos ou de drenagem rápida. As sementes são dispersas por pássaros, motivo pelo qual se verifica a ocorrência de uma vigorosa regeneração e a dispersão na vegetação secundária em praticamente todo o Estado. Convém ainda mencionar que apresenta um crescimento mediano, e a germinação das sementes é expressiva quando são lançadas nos capoeirões, onde existe luz difusa no interior (REITZ *et al.* 1983)

A madeira desta espécie é moderadamente pesada com densidade básica de 650 Kg/m<sup>3</sup>, de cerne e alburno indistintos, branco-palha-claros, uniformes, possui textura média, superfície lisa e lustrosa com brilho acentuado. É utilizada na construção civil, em vigas, caibros, ripas, em obras internas, na marcenaria, na carpintaria, em moirões, em cepas de calçados e em artefatos flexíveis. A madeira também serve para lenha, é ótima para carvão, apresentando alto poder calorífico, sendo, por isso, indicada para a formação de florestas energéticas. É uma espécie recomendada para o paisagismo em parques, praças e ruas. Por fim, a sua casca contém tanino e quando cozida, tem suposta ação medicinal contra bronquites, asma e tosse (REITZ *et al.*, 1983; BACKES e IRGANG, 2009; CARVALHO, 2006).

### 4.3 Metodologia específica

#### 4.3.1 Caracterização da vegetação inventariada

Para caracterizar a vegetação, nos locais onde foram amostradas as parcelas de densidade pontual, foram instaladas 4 unidades amostrais circulares com 5,64 m de raio (100 m<sup>2</sup>), totalizando uma área amostral de 400 m<sup>2</sup> (0,04 ha), alocadas intencionalmente nos locais amostrados pelo método de Spurr.

Nas parcelas, foram inventariados todos os indivíduos, vivos e mortos em pé, com circunferência na altura do peito (CAP) maior ou igual a 3,14 cm. Para cada árvore foram mensuradas a CAP, com fita métrica, e a altura, estimada com auxílio de uma vara. Além disso, determinou-se a posição sociológica das mesmas, bem como a espécie, classificando-as nas famílias reconhecidas pelo sistema do Angiosperm Phylogeny Group II (APG II, 2003).

Para descrever a vegetação calculou-se a estrutura horizontal da mesma, que indica a participação de cada espécie na comunidade, e a forma como se distribui espacialmente na área (LAMPRECHT, 1990). Sua análise foi obtida a partir dos índices de densidade, freqüência e dominância das espécies na área, descritos por Longhi (1980); Scolforo (1998); Schneider e Finger (2000); Felfili e Rezende (2003).

A densidade é o número de indivíduos de cada espécie na composição florística da comunidade. A densidade absoluta é obtida pela contagem do número de indivíduos amostrados de uma determinada espécie ( $n_i$ ) em uma determinada área amostral, geralmente expressa em hectare. A forma relativa é dada pela razão entre número de indivíduos de uma determinada espécie e o total de indivíduos de todas as espécies identificadas na área de estudo.

$$DA = n_i/ha$$

$$DR = \frac{n_i/ha}{N/ha} * 100$$

em que: DA = densidade absoluta; DR = densidade relativa;  $n_i$  = número total de indivíduos amostrados de cada espécie por unidade de área; N = número total de indivíduos amostrados, de todas as espécies da área estudada; ha = área em hectare.

A dominância expressa a proporção de tamanho, de volume ou de cobertura de cada espécie, em relação ao espaço ou volume da fitocenose. A dominância absoluta é a soma das áreas basais dos indivíduos pertencentes a uma mesma espécie. Já a dominância relativa é a razão da área basal de cada espécie, pela área basal total das árvores de todas as espécies, ambas por unidade de área:

$$DoA = g/ha$$

$$DoR = \frac{g/ha}{G/ha} * 100$$

onde: DoA = dominância absoluta em m<sup>2</sup>/ha; DoR = dominância relativa (%); G = área basal total das espécies encontradas por unidade de área; g = área basal de cada espécie por unidade de área; ha = área em hectare.

A freqüência é definida como a probabilidade de se amostrar determinada espécie numa unidade amostral. A freqüência absoluta expressa a percentagem de parcelas em que cada espécie ocorre. Já a freqüência relativa é o percentual de ocorrência de uma espécie em relação à soma das freqüências absolutas de todas as espécies:

$$FA = \frac{n^{\circ} \text{ de parcelas com ocorrência de espécie}}{n^{\circ} \text{ total de parcelas}} * 100$$

$$FR = \frac{FA_i}{\sum FA} * 100$$

em que: FA = freqüência relativa (%); FR = freqüência absoluta.

Para conhecer a diversidade de espécies vegetais, calculou-se o Índice de Diversidade de Shannon (H'). Este índice sempre foi o mais usado para indicar a diversidade das espécies presentes e a densidade relativa da espécie em um único valor. Geralmente os valores de H' situam-se entre 1,3 e 3,5 nats.indivíduo<sup>-1</sup>, raramente ultrapassando 5,0. A máxima diversidade que este índice atinge é obtida em situações onde todas as espécies sejam igualmente abundantes. Este índice é expresso por:

$$H' = - \sum p_i * \ln p_i$$

em que:  $H'$  = índice de Diversidade de Shannon;  $p_i = n_i/N$ ;  $n_i$  = número de indivíduos da espécie  $i$ ;  $N$  = número total de indivíduos.

Os cálculos para a análise fitossociológica foram processados com o auxílio do software Mata Nativa 2.0<sup>®</sup> (CIENTEC, 2006).

#### 4.3.2 Obtenção dos dados para o ajuste da máxima densidade

Para a realização deste trabalho foram amostrados 198 pontos, pelo método de Densidade Pontual, proposto por Spurr (1962), utilizando um Fator de Área Basal (FAB) de modo a excluir árvores que estejam acima do limite de amostragem selecionado para a amostra. A distância de inclusão da árvore em análise com base no seu DAP é calculada por:

$$L = \frac{0,5 \cdot DAP}{\sqrt{FAB}}$$

Onde:  $L$  = Distância calculada em função do DAP da árvore vizinha para verificar a inclusão ou não na unidade amostral;  $DAP$  = Diâmetro à altura do peito da árvore com suspeita de ser concorrente;  $FAB$  = Fator de área basal utilizado na amostragem.

Para as áreas onde havia árvores cujo diâmetro fosse muito superior ao da árvore central, utilizou-se o FAB 2, nas demais, foi adotado o FAB 1. Esse procedimento foi necessário para excluir árvores que divergissem muito da central, da amostragem, pois com o aumento do FAB, reduz-se a área amostrada para cada ponto, ou seja, as árvores incluídas na amostra devem estar mais próximas (Tabela 1).

Tabela 1: Variação da distância de inclusão para diferentes Fatores de Área Basal (FAB).

Diâmetro (cm)	FAB			
	1	2	3	4
	Distância de inclusão (m)			
5	2,50	1,77	1,44	1,25
10	5,00	3,54	2,89	2,50
15	7,50	5,30	4,33	3,75
20	10,00	7,07	5,77	5,00
30	15,00	10,61	8,66	7,50

A inclusão das árvores que compõe a densidade pontual foi realizada da mesma maneira que no método de Bitterlich. As árvores, cujo CAP é maior ou igual a um ângulo pré-definido (Fator de área basal – FAB), foram incluídas como componentes da densidade pontual a que a árvore amostra (central) estava submetida.

A fim de calcular a densidade pontual sobre certa árvore, mediu-se o CAP, estabelecido a 1,30 m de todas as árvores da unidade amostral, com fita métrica, calibrada em centímetros. Já a distância de cada árvore incluída na amostragem até a central foi realizada com o hipsômetro Vertex III. Cabe destacar que, para que esta medição fosse realizada corretamente, o transponder e o hipsômetro foram colocados na lateral de cada uma das árvores.

As árvores incluídas na determinação da densidade pontual foram ranqueadas em ordem decrescente da relação entre o diâmetro da árvore em análise e a distância desta até a árvore central. Logo, quanto maior fosse essa relação, maior o ângulo criado entre a árvore central e as tangentes da árvore em análise, e conseqüentemente maior a influência desta árvore a central. Para cada árvore incluída na seleção, calculou-se a área basal, de modo que a estimativa final da densidade pontual para a parcela foi obtida pela média de todas as árvores incluídas na amostragem.

Para alcançar o objetivo de determinar a área basal máxima que pode ser acumulada para um determinado diâmetro médio, amostraram-se sítios onde era possível identificar a ocorrência do autodesbaste. Para isso, foram inventariadas áreas onde havia árvores mortas. A árvore central de cada parcela foi escolhida observando critérios pré-estabelecidos, como ser um exemplar de tamanho intermediário (nem suprimido, nem dominante), a ausência de indivíduos de diâmetro muito superior ao do central a uma pequena distância da mesma e as árvores mortas não poderiam ser as maiores.

Apesar da seleção intencional, que teve por objetivo medir apenas parcelas que apresentassem mortalidade decorrente da alta densidade, é possível que ocorra a inclusão de parcelas que ainda não tenham atingido o estágio de autodesbaste. A mortalidade, mesmo nos indivíduos dominados, pode ser decorrente de fatores aleatórios, como ataques de insetos, doenças, extremos climáticos, etc.

#### 4.3.3 Área basal por hectare (G)

O processo de cálculo para a obtenção da área basal por hectare (G) seguiu o método proposto por Spurr (1962), demonstrado em continuidade.

$$G_{pontual} = \sum_{i=1}^n \left[ \left( i - \frac{1}{2} \right) \cdot \left( 0,25 \cdot \left( \frac{D_i}{L_i} \right)^2 \right) \right]$$

Onde: G = Área basal por hectare estimada no ponto de amostragem; i = Número da árvore por ordem de classificação na unidade amostral; Di = Diâmetro da árvore competidora; Li = Distância da árvore competidora até a árvore central.

#### 4.3.4 Número de árvores por hectare (N) e dg

O número de árvores por hectare é estimado com base no método de Bitterlich. O número de árvores, calculado com base nas árvores incluídas na amostragem por Bitterlich, é obtido pelo somatório do inverso das áreas basais das árvores incluídas na unidade amostral, depois, multiplicado pelo Fator de Área Basal (FAB):

$$N = FAB \times \sum_{i=1}^m \frac{1}{g_i}$$

Onde: N = Número de árvores por hectare; gi = Área basal i-ésima árvore medida na unidade amostral.

O diâmetro quadrático médio foi definido dividindo a área basal de cada parcela pelo seu respectivo número de árvores.

#### 4.3.5 Ajuste da linha de máxima densidade.

A linha de máxima densidade foi obtida ajustando o modelo  $\ln(N) = b_0 + b_1 \cdot \ln(d_g)$ , proposto por Reineke (1933), aos dados referentes ao número de árvores e ao diâmetro médio observado nas parcelas. Para isso foram utilizados, os métodos: quadrados ordinários corrigidos, para todos os dados e com DR > 60 %, método da densidade relativa, para uma análise de regressão com os dados de densidade relativa maior que 90%; ajuste manual; e, análise da fronteira estocástica, descritos a seguir:

- Ajuste manual: para ajustar manualmente o modelo foram utilizadas as coordenadas  $x$  e  $y$ , das duas parcelas de maior densidade, para calcular os coeficientes  $b_0$  e  $b_1$  da equação.

- Análise de Regressão Corrigida: realizou-se uma análise de regressão para todos os dados (REG.C - total), e outra para aqueles com DR maior que 60% (REG.C - 60%DR). Assim foram obtidas duas curvas médias para a nuvem de pontos. Para garantir que a linha de máxima densidade estimada envolva todos os dados e passe pelo ponto de maior densidade, o intercepto calculado pela análise de regressão foi ajustado até que todos os resíduos, exceto um, sejam negativos.

- Densidade Relativa: assumiu-se que o coeficiente angular da relação  $\ln(N)$  e  $\ln(dg)$  é  $-1,5$ , determinou-se o intercepto e, para tal, utilizou-se a equação  $b_0 = \ln(N) + 1,5 \cdot \ln(dg)$ , (onde  $N$  é o número de árvores por hectare, e  $dg$  é o diâmetro quadrático médio), usando a parcela com maior combinação  $\ln(N)$  e  $\ln(dg)$ . A equação determinada foi usada para calcular a densidade máxima do povoamento ( $N_{max}$ ) para o  $dg$  de uma determinada parcela. O índice de densidade relativa foi calculado por  $N_i/N_{max}$ , onde  $N_i$  é o número atual de árvores da  $i$ -ésima parcela. A densidade relativa foi computada para cada parcela e foram selecionadas parcelas cuja densidade relativa fosse maior que  $0,9$  para desenvolver a máxima relação entre a densidade e o tamanho.

- Análise de Fronteira Estocástica, cujo procedimento de cálculo foi descrito Coelli (1996).

Um problema para este ajuste é representado pelas parcelas que ainda não alcançaram o estágio de autodesbaste, uma vez que, dependendo do método adotado para ajustar a curva de máxima densidade, o coeficiente angular do modelo será afetado por pontos de mínima, que, no caso, seriam parcelas que estão abaixo da densidade necessária para causar a mortalidade. Para evitar que parcelas em que a mortalidade não era causada pela densidade fossem utilizadas para a modelagem, foram selecionadas apenas parcelas cuja densidade relativa fosse maior que 60% da densidade máxima. Este valor foi sugerido por Gezan *et al.* (2007), como sendo a densidade relativa em que se inicia o autodesbaste.

Os parâmetros do modelo foram obtidos por meio do uso de *softwares*, como o Microsoft Excel, o SAS (1999) e, para a análise de fronteira estocástica, recorreu-se ao FRONTIER 4.1 (COELLI, 1996).

Para selecionar o modelo que melhor estimou a curva de máxima densidade, observou-se como cada modelo calculou os três pontos de maior densidade. Selecionou-se o modelo ajustado pelo método dos mínimos quadrados ordinários corrigidos e, por meio deste, calculou-se a área basal máxima e o máximo número de árvores, para cada classe de diâmetro estudada, bem como o índice de densidade do povoamento.

No que se refere aos Índices de Densidade do Povoamento, eles foram obtidos definindo-se um diâmetro padrão de 25 cm (10 polegadas). Este índice foi calculado pela seguinte expressão:

$$IDP = N * \left[ \frac{d_g}{d_0} \right]^\beta$$

Em que:  $d_0$  = Diâmetro padrão básico do povoamento normalmente definido como 25 cm;  $d_g$  = Diâmetro de área basal média;  $N$  = Número de árvores por hectare;  $\beta$  = Coeficiente angular da equação de Reineke.

A linha de máxima densidade foi construída com dados oriundos de 162 parcelas, as quais apresentavam densidade relativa maior que 60%. Os dados necessários para tal foram: número máximo de árvores por hectare ( $N_m$ ) e diâmetro da árvore de área basal média ( $d_g$ ).

Em virtude da dificuldade de encontrar árvores livres para determinar a densidade relativa de fechamento do dossel, avaliou-se 5 indivíduos de *Cupania vernalis*, que apresentavam copas livres, e bem formadas. Para isso foram medidos os 4 raios de copa, um em cada ponto cardeal. Com estas medidas calculou-se a área de copa destas árvores, bem como o número de árvores por hectare necessárias para que ocorra o fechamento do dossel.

Já para o início da mortalidade em decorrência da densidade, utilizou-se o valor proposto por Gezan *et al.* (2007), que foi de 60% da densidade máxima. Esta densidade relativa para o início do autodesbaste se justifica, pois este valor gerou o modelo que melhor estimou a linha de máxima densidade. Assim pôde-se deduzir que a mortalidade em decorrência do aumento da densidade acentua-se quando a população atinge tal densidade.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análise de Vegetação

Foram amostrados 820 indivíduos nos 400 m<sup>2</sup> inventariados, o que correspondeu a uma densidade de 20500 plantas por hectare, distribuídas em 15 famílias, 21 gêneros e 22 espécies (Tabela 2). A família com maior número de espécies foi a Fabaceae, que de acordo com Vaccaro (1997) se apresenta como a mais rica em espécies arbóreas nas Florestas Estacionais Deciduais do Rio Grande do Sul.

Tabela 2: Família botânica, nome científico e comum, das espécies amostradas (Silveira Martins, 2010).

<b>Família</b>	<b>Nome científico</b>	<b>Nome popular</b>
Annonaceae	<i>Annona rugulosa</i> (Schltdl.) H.Rainer	Araticum
Ebenaceae	<i>Diospyros inconstans</i> Jacq.	Maria-preta
Fabaceae	<i>Machaerium paraguariense</i> Hassl.	Canela-do-brejo
	<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan	Angico-vermelho
	<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Timbaúva
	<i>Dalbergia frutescens</i> (Vell.) Britton	Rabo-de-bugiu
Lauraceae	<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	Canela-preta
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Cedro
	<i>Trichilia elegans</i> A.Juss.	Pau-de-ervilha
Moraceae	<i>Morus nigra</i> L	Amoreira-negra
Myrsinaceae	<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	Capororocão
Quillajaceae	<i>Quillaja brasiliensis</i> (A.St.-Hil. & Tul.) Mart.	Sabão-de-soldado
Rosaceae	<i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb.	Pessegueiro-do-mato
Rubiaceae	<i>Randia ferox</i> DC.	Limoeiro-do-mato
Rutaceae	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	Mamica-de-cadela
Salicaceae	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Carvalhinho
	<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	Camboatá-vermelho
	<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil. et al.) Hieron. ex Niederl.	Chal-chal
Solanaceae	<i>Solanum acanthodes</i> Hook.f.	Joá-velame
	<i>Solanum mauritianum</i> Scop.	Fumo-bravo
Urticaceae	<i>Ureia baccifera</i> (L.) Gaudich. ex Wedd.	Urtigão
	<i>Boehmeria caudata</i> Sw.	Urtigão-manso

No que se refere à estrutura horizontal da população florestal inventariada (Tabela 3), verificou-se que *Cupania vernalis* foi a espécie mais importante, com Valor de Importância de 46,6%, e apresentou os maiores valores de densidade,

frequência e dominância. A segunda espécie mais importante foi *Machaerium paragrariensis*, que teve uma maior dominância do que as árvores mortas, as quais apresentaram o terceiro maior valor de importância. Estas 3 juntas totalizaram 69,9% do VI.

Tabela 3: Parâmetros fitossociológicos das espécies amostradas (Silveira Martins, 2010).

Nome Científico	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	VC	VC (%)	VI	VI (%)
<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	12500	61,0	100	10,5	17,9	67,1	128,1	64,0	138,6	46,2
<i>Machaerium paraguariense</i> Hassl.	2975	14,5	100	10,5	3,9	14,6	29,1	14,5	39,6	13,2
Morta	3300	16,1	100	10,5	1,3	4,9	21,0	10,5	31,5	10,5
<i>Boehmeria caudata</i> Sw.	425	2,1	50	5,3	1,2	4,6	6,7	3,3	11,9	4,0
<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan	100	0,5	50	5,3	1,0	3,7	4,2	2,1	9,4	3,1
<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	125	0,6	75	7,9	0,0	0,1	0,7	0,3	8,6	2,9
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	50	0,2	50	5,3	0,1	0,4	0,6	0,3	5,9	2,0
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	50	0,2	50	5,3	0,1	0,2	0,4	0,2	5,7	1,9
<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	325	1,6	25	2,6	0,1	0,2	1,8	0,9	4,5	1,5
<i>Morus nigra</i> L	50	0,2	25	2,6	0,3	1,1	1,4	0,7	4,0	1,3
<i>Dalbergia frutescens</i> (Vell.) Britton	125	0,6	25	2,6	0,1	0,5	1,1	0,6	3,7	1,3
<i>Annona rugulosa</i> (Schltdl.) H.Rainer	175	0,9	25	2,6	0,1	0,2	1,1	0,5	3,7	1,2
<i>Solanum mauritianum</i> Scop.	25	0,1	25	2,6	0,2	0,8	0,9	0,4	3,5	1,2
<i>Quillaja brasiliensis</i> (A.St.-Hil. & Tul.) Mart.	25	0,1	25	2,6	0,2	0,6	0,8	0,4	3,4	1,1
<i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb.	25	0,1	25	2,6	0,1	0,4	0,6	0,3	3,2	1,1
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	25	0,1	25	2,6	0,1	0,3	0,4	0,2	3,0	1,0
<i>Diospyros inconstans</i> Jacq.	50	0,2	25	2,6	0,0	0,1	0,3	0,2	2,9	1,0
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	25	0,1	25	2,6	0,0	0,2	0,3	0,1	2,9	1,0
<i>Urera baccifera</i> (L.) Gaudich. ex Wedd.	25	0,1	25	2,6	0,0	0,0	0,1	0,1	2,8	0,9
<i>Solanum acanthodes</i> Hook.f.	25	0,1	25	2,6	0,0	0,0	0,1	0,1	2,8	0,9
<i>Randia ferox</i> DC.	25	0,1	25	2,6	0,0	0,0	0,2	0,1	2,8	0,9
<i>Trichilia elegans</i> A.Juss.	25	0,1	25	2,6	0,0	0,0	0,1	0,1	2,8	0,9
<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil. et al.) Hieron. ex Niederl.	25	0,1	25	2,6	0,0	0,0	0,1	0,1	2,8	0,9
<b>Total</b>	<b>20500</b>	<b>100</b>	<b>950</b>	<b>100</b>	<b>26,7</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>100</b>	<b>300</b>	<b>100</b>

Onde: DA = Densidade absoluta, DR = Densidade relativa, FA = Frequência absoluta, FR = Frequência relativa, DoA = Dominância absoluta, DoR = Dominância relativa, VC = Valor de cobertura, VI = Valor de importância.

Na região central do Rio Grande do Sul, Mattos (2007) verificou que em uma Floresta Estacional Decidual, *Cupania vernalis* também foi a espécie mais com maior Valor de Importância, tendo respectivamente 41,18 e 47,47% do total nos estágio de Capoeira e Capoeirão.

Verificou-se a presença de um elevado número de árvores mortas (16,1% dos indivíduos). Este valor é superior ao encontrado por Scipioni (2008), em São Martinho da Serra, o qual observou que 5,45% dos indivíduos eram mortos. A elevada proporção de árvores mortas demonstrou que a população em estudo encontrava-se no estágio de autodesbaste, e assim, a amostragem intencional cumpriu o objetivo de amostrar populações em autodesbaste.

A distribuição diamétrica do número de indivíduos (Figura 3) apresentou a forma de um “jota invertido”, que segundo Longhi (1980) é típica de florestas inequidâneas, onde o número de indivíduos decresce com o aumento das classes diamétricas.

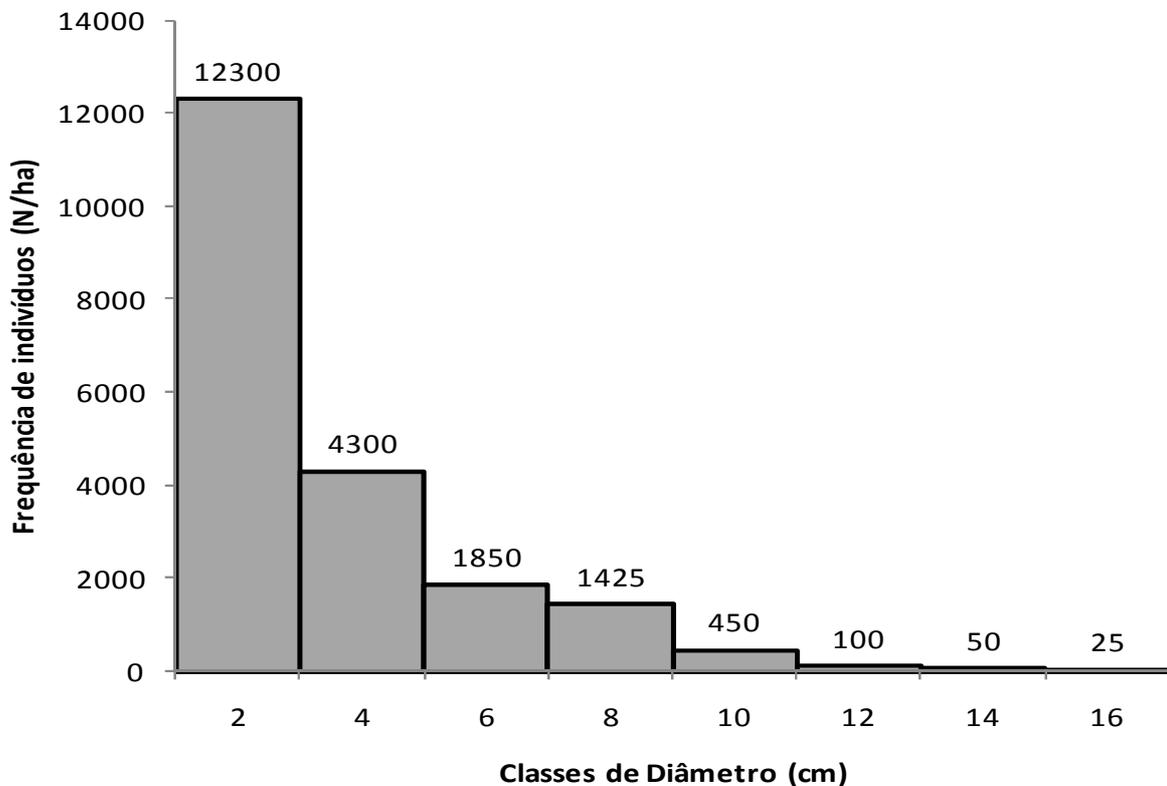


Figura 3: Distribuição diamétrica dos indivíduos amostrados (Silveira Martins, 2010).

## 5.2 Linha de Máxima Densidade

Os dados amostrados apresentaram uma grande variação, como pode ser observado na Tabela 2. Verificou-se que o número médio de árvores apresentou a maior oscilação, variando de 5213 até 45175 árvores por hectare, com um desvio padrão de 7736, que representa um coeficiente de variação de 40,22%. Já o diâmetro médio quadrático variou entre 2,86 e 9,51 cm. A área basal, enquanto isso foi a variável que apresentou a menor variação, com um coeficiente de variação de 20,6%.

Tabela 4: Resumo estatístico dos dados das 198 parcelas utilizadas para a definição da linha de máxima densidade em Floresta Estacional Decidual (Silveira Martins, 2010).

Variáveis	N	G (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	dg (cm)
Média	19236	30	5
Desvio Padrão	7736	6,21	1,27
CV %	40,22%	20,63%	26,60%
Máximo	45175	47,1405	9,51
Mínimo	5213	15,6124	2,86

A grande variação no número de árvores ocorreu porque à medida que as árvores crescem, elas necessitam de mais espaço, ampliando a competição que causará a morte de algumas árvores. Isso evidenciou que, mesmo para um pequeno crescimento em diâmetro, fez-se necessária uma redução considerável no número de árvores por hectare.

Plotando o número de árvores por hectare pelo diâmetro quadrático médio, gerou-se uma curva em “J” invertido (Figura 3 A), como observado por Reineke (1933). Neste tipo de curva, nota-se uma rápida redução do número de indivíduos para diâmetros pequenos e uma diminuição mais lenta nos maiores. Transformando-se estes dados para uma escala de duplo logarítmica, o conjunto de dados apresentou uma tendência linear decrescente (Figura 3 B).

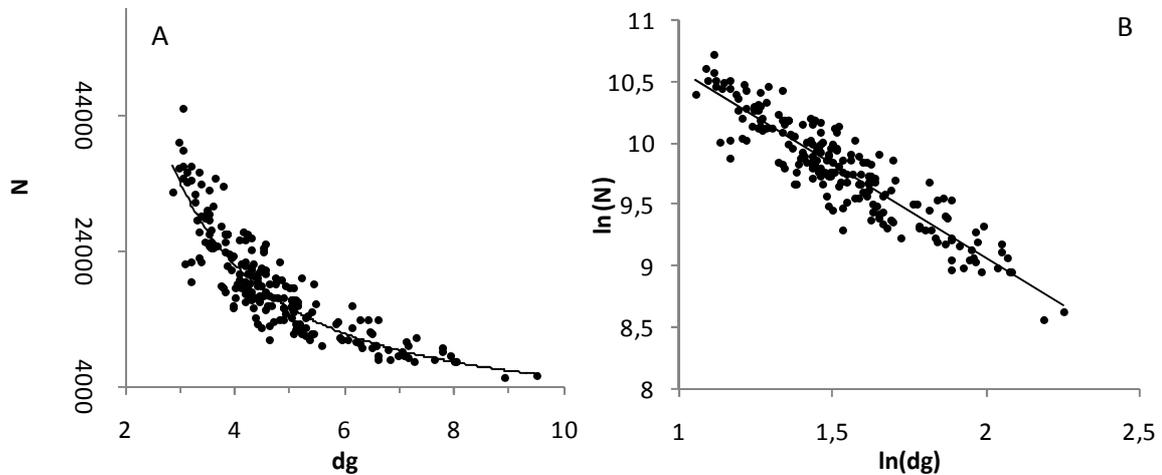


Figura 4: Tendência do número de árvores em função do diâmetro médio quadrático em escala aritmética (A) e duplo-logarítmica (B) (Silveira Martins, 2010).

A rápida redução no número de árvores nos menores diâmetros efetiva-se provavelmente, em virtude do pequeno espaço liberado pela morte de um destes indivíduos, quando comparados com árvores grandes. Além disso, a capacidade de ocupação deste espaço pelos remanescentes também diminui com o aumento das dimensões, ou seja, a morte de uma árvore grande libera um maior espaço de crescimento para indivíduos que possuem uma menor capacidade de ocupá-los. Desta forma, como o espaço para o crescimento permanece disponível, não é necessário que outra árvore morra.

O número de árvores foi inversamente proporcional ao diâmetro, ou seja, à medida que as árvores crescem, elas necessitam de mais espaço, ampliando a competição que causará a morte de algumas árvores, principalmente as suprimidas. Depois da morte das árvores, dá-se a liberação de espaço para o crescimento, possibilitando que isto aconteça com as árvores remanescentes.

Embora os dados apresentem certa dispersão, com parcelas de menor densidade, observa-se, na Figura 4, que há um limite máximo nitidamente definido, demonstrando que esta é a densidade limite, ocorrendo a máxima ocupação possível do espaço físico, de modo que os povoamentos, ou as parcelas que estejam próximas deste limite, estão superestocados, necessitando urgentemente de cortes de liberação.

Apesar da seleção intencional amostrando apenas áreas com mortalidade, verificou-se a presença de pontos com uma densidade relativamente baixa.

Segundo Osawa e Allen (1993), é possível que alguns pontos de menor densidade ainda não tenham atingido densidade suficiente para causar a mortalidade de árvores. Estas parcelas, portanto, não poderiam ser utilizadas para estimar a linha de autodesbaste. Assim, para a modelagem do limite superior da relação da densidade pelo tamanho, foram considerados apenas os pontos cuja densidade fosse de, no mínimo, 60% da máxima amostrada.

Esse cuidado foi necessário, pois, segundo Johnson *et al.* (2003), a mortalidade também pode ser causada por fatores como a poluição do ar, os vendavais, as inundações, as nevascas, o granizo, o ataque de insetos, e as doenças, entre outros

Por isso, Solomon e Zhang (1998, 2002), preocupados com a presença de parcelas subestocadas no conjunto de dados, optaram por utilizar apenas aquelas cuja densidade fosse de, no mínimo 70 % da máxima. Por outro lado, Gezan *et al.* (2007), definiram que a mortalidade induzida pela competição acentua-se entre 50% e 60% da densidade máxima, e consideraram a densidade relativa de 60% como a densidade mínima para que ocorra o autodesbaste.

Apesar dos diferentes métodos utilizados, a variação do coeficiente angular foi pequena, apenas na segunda casa após a vírgula (Tabela 3). Em percentuais a diferença máxima entre os coeficientes foi de apenas 2 %. Todos os coeficientes encontram-se entre os valores obtidos por Yoda *et al.* (1963) e Reineke (1933), respectivamente entre -1,5 e -1,605.

Tabela 5: Comparação dos parâmetros do modelo de Reineke (1933) estimados por diferentes métodos para Floresta Estacional Decidual, em Silveira Martins.

Método de ajuste	Parâmetros		Dg					
	b0	b1	5,5		6,1		3,8	
			N real	N est	N real	N est	N real	N est
Reg.C Total	260967	-1,531		19445		16254		33729
Reg. 90 % DR	257008	-1,556		18355		15298		32125
Reg.C 60 % DR	272370	-1,563	19107	19223	15971	16008	33729	33729
SFA	216432	-1,545		15760		13152		27470
Ajuste manual	274107	-1,568		19182		15964		33718

Onde: Reg.C Total = regressão para todos os dados, intercepto corrigido; Reg. 90% DR = regressão para os dados com Densidade relativa maior que 90%; Reg.C 60% DR = regressão para os dados com Densidade relativa maior que 60%, intercepto corrigido; SFA = Análise de Fronteira Estocástica

Com exceção da equação obtida pela análise de regressão com todos os dados, que teve o expoente com menor inclinação (-1,531), todas as demais ficaram dentro do intervalo obtido por Del Rio *et al.* (2001), os quais constataram uma variação por espécie e muitas vezes, com a idade, para valores entre - 2,33 e -1,54. Para *Pinus elliottii* Engelm, Thomas (2009) encontrou um valor de -1,92 para mesmo coeficiente, já para *Hovenia dulcis* Thunberg, Selle (2009) obteve um coeficiente angular muito próximo do -1,5 postulado por Yoda *et al.* (1963).

Na literatura, encontram-se vários estudos nos quais o expoente da equação entre densidade e diâmetro é menor que -1. Para a conífera *Picea glauca*, Saunders e Puettmann (2000), verificaram valor igual a -0,473 para a linha de autodesbaste. Por outro lado, em folhosas, Puettmann *et al.* (1993), definiram como coeficiente angular da linha de máxima densidade o valor de -0,52, para *Pseudotsuga menziesii*, e -0,64 para *Alnus rubra*.

Esses valores tão diferentes foram obtidos porque, ao invés de utilizar o diâmetro como variável independente, os autores usaram o número de árvores. Isso é feito para estimar qual o diâmetro poderá ser alcançado para um determinado número de árvores.

A análise de fronteira estocástica, por sua vez, subestimou a linha de máxima densidade, pois resultou um intercepto bem inferior ao alcançado pelo ajuste manual. Fato semelhante também foi verificado por Zhang *et al.* (2005), ressaltando-se que, apesar dos resíduos deste método apresentarem uma média negativa, não significa que todos sejam negativos. Segundo eles, isso se deve a natureza do método.

Zhang *et al.* (2005) compararam métodos alternativos para estimar o limite superior da linha de autodesbaste e, para avaliar a qualidade dos parâmetros, eles utilizaram o ajuste manual como uma linha guia, à qual todas as linhas obtidas pelos demais métodos foram comparadas. Para esta comparação, não foram usadas análises estatísticas.

Analisando o número de indivíduos em função do diâmetro, para as três parcelas de maior densidade (Tabela 3), observa-se que o método que melhor ajustou a densidade para estas unidades foi a regressão com os dados das parcelas com densidade relativa maior que 60 %. Este modelo estimou, com exatidão, o número de árvores para a parcela de maior densidade, da mesma maneira, a regressão com todos os dados estimou, com precisão, a parcela mais densa, porém

superestimou, em muito, as outras parcelas. Por outro lado, o modelo ajustado manualmente subestimou as duas parcelas mais densas.

Ajustou-se um modelo que descrevesse a média para os pontos que possuíam densidade relativa maior que 60 % da densidade máxima. Mas como o objetivo é determinar uma curva que descreva o limite superior da nuvem de pontos, corrigiu-se o intercepto de maneira que a curva passasse exatamente sobre o ponto de maior densidade. Autores, como Zhang *et al.* (2005), mencionam os perigos deste método de ajustar a curva de máxima densidade. Por isso, a utilização deste método deve ser feita com muito cuidado, avaliando-se a inclinação da curva média se ajusta bem ao limite superior dos dados.

Em condições não controladas, as linhas obtidas por regressão poderiam variar desordenadamente, sem que o limite superior de autodesbaste varie, exceto quando todas as populações florestais estiverem sob uma destruição extraordinária (GUO e RUNDEL, 1998), indicando que o coeficiente angular da equação de Reineke é muito influenciável por parcelas que estejam com baixa densidade.

Para averiguar se a equação obtida descreve bem o limite superior do autodesbaste, ela foi comparada à equação ajustada “manualmente”. Como a diferença no resultado do coeficiente angular foi muito pequena, diferindo apenas na terceira casa após a vírgula, pode-se afirmar que, para estes dados, o método dos mínimos quadrados ordinários corrigidos, foi eficiente em estimar a curva de máxima densidade. Na Figura 5, pode-se observar que ambos apresentam praticamente a mesma trajetória, coincidindo as linhas de número de árvores pelo diâmetro em unidade logarítmica.

Como exposto, a equação  $N = 272370 * d_g^{-1,563}$ , a qual foi obtida por análise de regressão com dados cuja densidade era maior que 60%, corrigindo o intercepto, configurou-se como aquela que melhor estimou a linha de máxima densidade, e por este motivo, foi usado para calcular os Índices de Densidade do Povoamento.

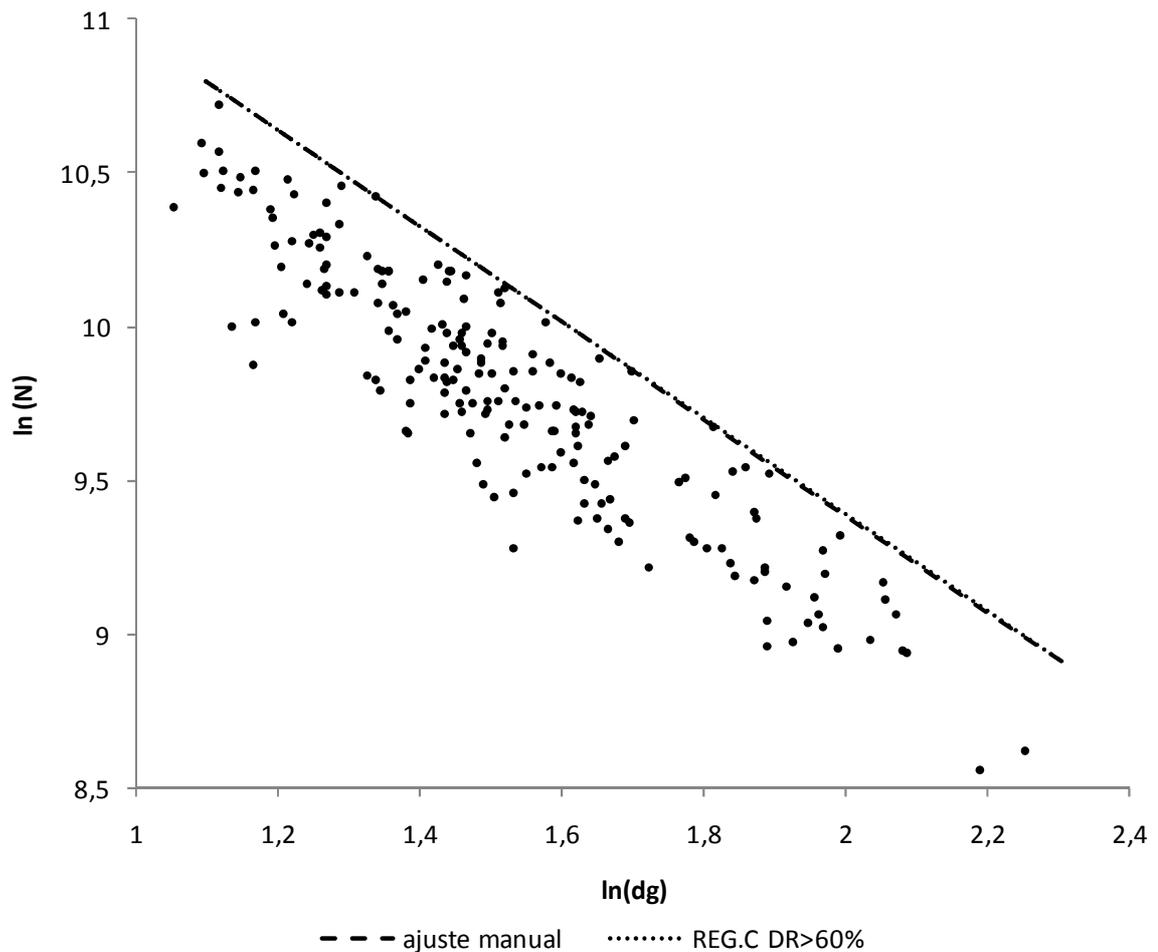


Figura 5: Comparação do limite superior do autodesbaste em estágio inicial de Floresta Estacional Decidual, obtido pelo método de ajuste manual e regressão 60 %.

## 5.2 Índice de Densidade do Povoamento

O índice de densidade do povoamento é definido pelo número de árvores por unidade de área que um povoamento pode suporta para alcançar um diâmetro de área basal média de 25 cm, normalmente, fixado como objetivo. As populações de uma mesma espécie, mesmo crescendo em locais diferentes, tendem a limites de densidade específicos, mas com tendência semelhante. Devido a isto, são gerados índices de densidade da população paralelos para diferentes níveis de densidade em árvores por unidade de área, de acordo com Schneider (2008).

Para a Floresta Estacional Decidual foram estabelecidos IDPs com intervalo de classe de 200, variando entre 1700 e 300 (Tabela 6). O  $IDP_{m\acute{a}x}$  obtido foi de 1779, que é superior aos observados por Thomas (2009) para *Pinus elliottii* (1201), Schneider (2008) em *Pinus taeda* L. (1494). Essa diferença pode ter ocorrido,

porque *Cupania vernalis* é uma espécie que tolera bem o sombreamento, ao contrário das espécies de *Pinus* estudadas. Além disso, a competição interespecífica pode ter aumentado a sobrevivência dos indivíduos, de modo que, em uma população mista poderiam coexistir mais árvores, para um mesmo diâmetro, do que em populações puras.

Tabela 6: Índices de densidade do povoamento em número de árvores por hectare para Floresta Estacional Decidual.

Dg	Máximo	Índice de Densidade do Povoamento									Mínimo
		1700	1500	1300	1100	900	700	534	500	300	
3	48912	46740	41241	35742	30244	24745	19246	14674	13747	8248	7337
4	31199	29813	26306	22798	19291	15783	12276	9360	8769	5261	4680
5	22012	21035	18560	16085	13611	11136	8661	6604	6187	3712	3302
6	16554	15819	13958	12097	10236	8375	6514	4966	4653	2792	2483
7	13010	12432	10969	9507	8044	6582	5119	3903	3656	2194	1951
8	10559	10090	8903	7716	6529	5342	4155	3168	2968	1781	1584
9	8784	8394	7406	6419	5431	4444	3456	2635	2469	1481	1318
10	7450	7119	6282	5444	4607	3769	2931	2235	2094	1256	1118
11	6419	6134	5412	4691	3969	3247	2526	1926	1804	1082	963
12	5603	5354	4724	4094	3464	2834	2205	1681	1575	945	840
13	4944	4724	4168	3613	3057	2501	1945	1483	1389	834	742
14	4403	4208	3713	3218	2723	2228	1733	1321	1238	743	660
15	3953	3777	3333	2889	2444	2000	1555	1186	1111	667	593
16	3574	3415	3013	2611	2210	1808	1406	1072	1004	603	536
17	3251	3106	2741	2375	2010	1644	1279	975	914	548	488
18	2973	2841	2507	2172	1838	1504	1170	892	836	501	446
19	2732	2611	2303	1996	1689	1382	1075	820	768	461	410
20	2521	2409	2126	1843	1559	1276	992	756	709	425	378
21	2336	2233	1970	1707	1445	1182	919	701	657	394	350
22	2172	2076	1832	1588	1343	1099	855	652	611	366	326
23	2027	1937	1709	1481	1253	1025	797	608	570	342	304
24	1896	1812	1599	1386	1172	959	746	569	533	320	284
<b>25</b>	<b>1779</b>	<b>1700</b>	<b>1500</b>	<b>1300</b>	<b>1100</b>	<b>900</b>	<b>700</b>	<b>534</b>	<b>500</b>	<b>300</b>	<b>267</b>

Weiskittel *et al.* (2009) observaram que houve grande diferença entre as três espécies avaliadas em seus estudos. Esta variação deu-se juntamente com a tolerância ao sombreamento. Os valores do IDP máximo foram de 1003 para a espécie intolerante, 1454 para a mediamente tolerante, e de 1688 para a espécie extremamente tolerante. Essa variação sugere que uma espécie com maior

tolerância ao sombreamento poderá acumular um maior número de árvores para uma mesma área e diâmetro, pois suportaria uma competição mais intensa pela luz.

Para uma espécie de *Eucalyptus* Reineke (1933) encontrou uma densidade de 1210 árvores por hectare, para o diâmetro padrão de 10 polegadas (25 cm). Apesar das espécies deste gênero botânico serem tolerantes ao sombreamento, o valor observado pelo autor citado é menor que o obtido no presente estudo para *Cupania vernalis*, espécie dominante nas áreas inventariadas, mostrando que esta espécie é mais tolerante ao sombreamento que o eucalipto estudado por Reineke.

O comportamento dos índices e as suas tendências pelo número de árvores por hectare em função do dg, podem ser observados nas Figuras 6 e 7.

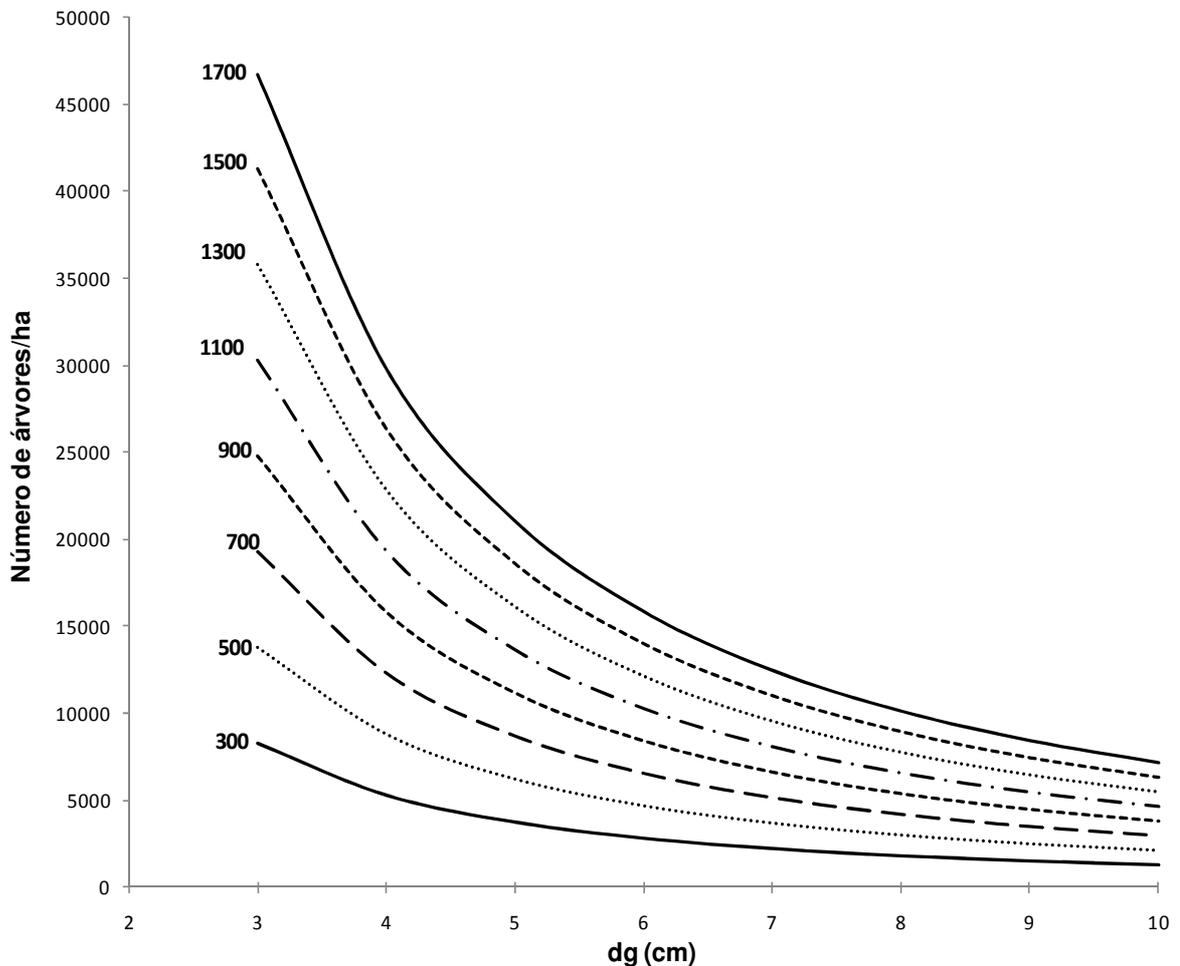


Figura 6: Representação da tendência das curvas de Índice de Densidade do Povoamento em função do dg, para diâmetros entre 3 e 11 cm.

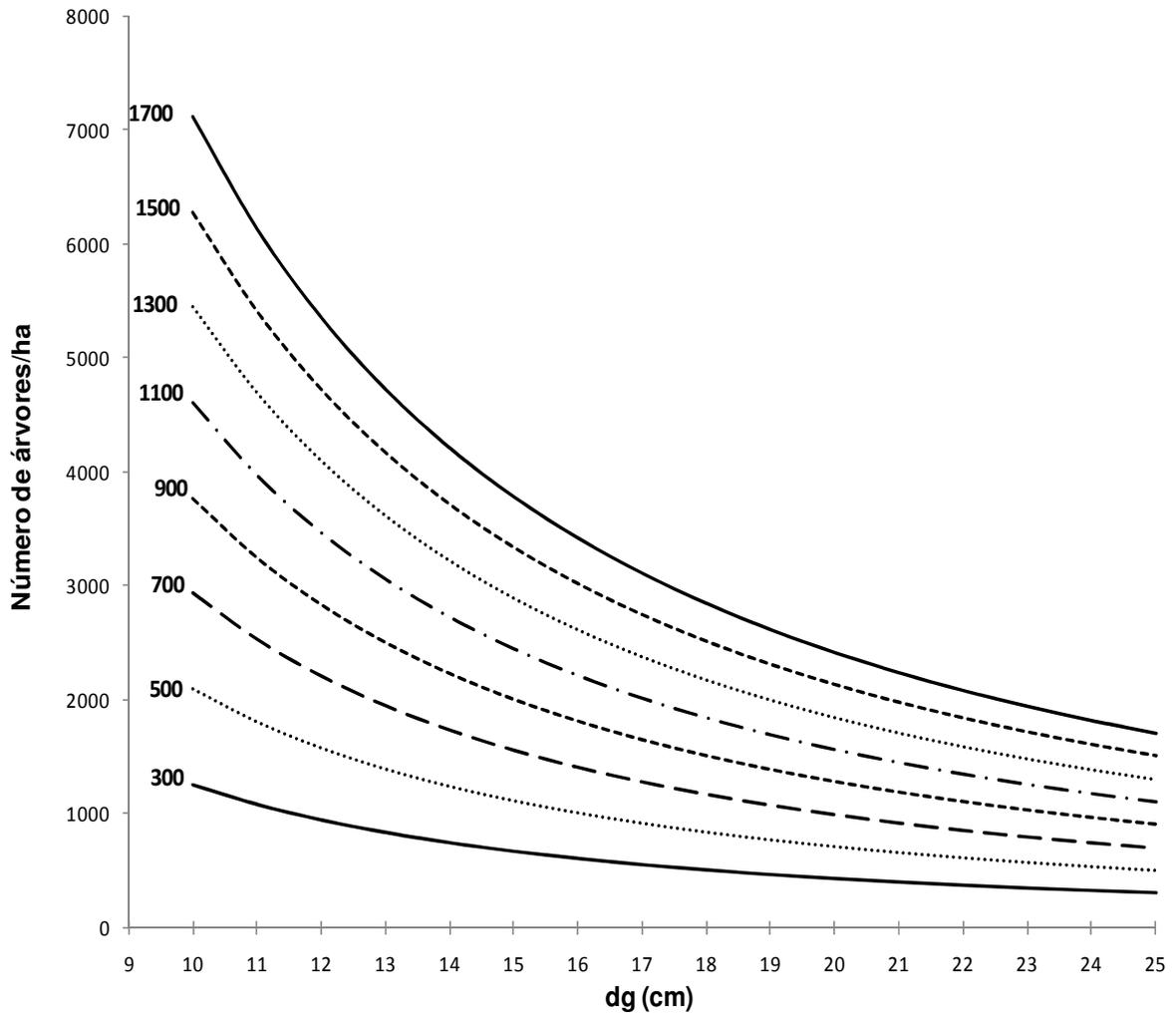


Figura 7: Representação da tendência das curvas de Índice de Densidade do Povoamento em função do dg, para diâmetros entre 11 e 25 cm.

Também foi calculado o Índice de Densidade do Povoamento em área basal por hectare, pelo diâmetro médio para os IDPs de 1700 a 300. Estes valores foram descritos de maneira decrescente em intervalos de classe de 200 árvores por hectare, conforme mostra a Tabela 7.

Tabela 7: Área basal em função do diâmetro e por Índices de Densidade do Povoamento, para Floresta Estacional Decidual.

Dg (cm)	G Máxima (m <sup>2</sup> /ha)	Índice de Densidade do Povoamento								G Mínima (m <sup>2</sup> /ha)
		1700	1500	1300	1100	900	700	500	300	
		Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)								
3	34,57	33,04	29,15	25,26	21,38	17,49	13,60	9,72	5,83	5,19
4	39,21	37,46	33,06	28,65	24,24	19,83	15,43	11,02	6,61	5,88
5	43,22	41,30	36,44	31,58	26,72	21,87	17,01	12,15	7,29	6,48
6	46,81	44,73	39,47	34,20	28,94	23,68	18,42	13,16	7,89	7,02
7	50,07	47,84	42,22	36,59	30,96	25,33	19,70	14,07	8,44	7,51
8	53,08	50,72	44,75	38,78	32,82	26,85	20,88	14,92	8,95	7,96
9	55,88	53,40	47,12	40,83	34,55	28,27	21,99	15,71	9,42	8,38
10	58,51	55,91	49,34	42,76	36,18	29,60	23,02	16,45	9,87	8,78
11	61,00	58,29	51,43	44,58	37,72	30,86	24,00	17,14	10,29	9,15
12	63,37	60,55	53,43	46,30	39,18	32,06	24,93	17,81	10,69	9,50
13	65,62	62,71	55,33	47,95	40,57	33,20	25,82	18,44	11,07	9,84
14	67,78	64,77	57,15	49,53	41,91	34,29	26,67	19,05	11,43	10,17
15	69,86	66,75	58,90	51,05	43,19	35,34	27,49	19,63	11,78	10,48
16	71,85	68,66	60,58	52,51	44,43	36,35	28,27	20,19	12,12	10,78
17	73,78	70,51	62,21	53,92	45,62	37,33	29,03	20,74	12,44	11,07
18	75,65	72,29	63,78	55,28	46,78	38,27	29,77	21,26	12,76	11,35
19	77,46	74,02	65,31	56,60	47,89	39,19	30,48	21,77	13,06	11,62
20	79,21	75,70	66,79	57,88	48,98	40,07	31,17	22,26	13,36	11,88
21	80,92	77,33	68,23	59,13	50,03	40,94	31,84	24,28	13,65	12,14
22	82,58	78,91	69,63	60,35	51,06	41,78	32,49	24,77	13,93	12,39
23	84,20	80,46	71,00	61,53	52,06	42,60	33,13	25,26	14,20	12,63
24	85,78	81,97	72,33	62,69	53,04	43,40	33,75	25,73	14,47	12,87
<b>25</b>	<b>87,33</b>	<b>83,45</b>	<b>73,63</b>	<b>63,81</b>	<b>54,00</b>	<b>44,18</b>	<b>34,36</b>	<b>26,20</b>	<b>14,73</b>	<b>13,10</b>

A Figura 8 mostra o comportamento da área basal por hectare, em função do diâmetro, onde, nota-se uma leve inclinação da área basal com o aumento do diâmetro. A inclinação é proporcional ao índice de densidade, de modo que, quanto maior o IDP, maior será a inclinação.

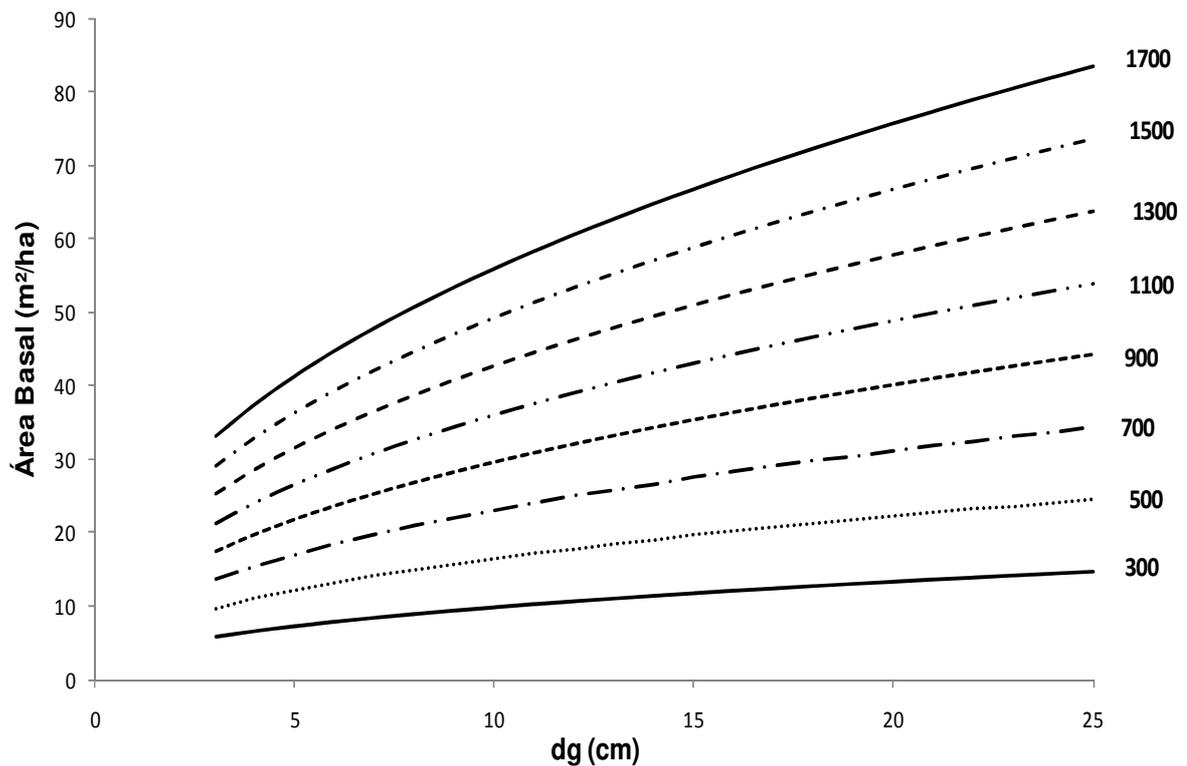


Figura 8: Representação da tendência da área basal por Índice de Densidade do Povoamento em função do dg, para Floresta Estacional Decidual.

### 5.3 Dendrograma de manejo da densidade

O dendrograma é uma forma prática e eficiente de demonstrar a densidade populacional e, também, é de grande importância na orientação para intervenções de desbaste. O dendrograma é de fácil entendimento e a densidade pode ser lida tanto em área basal, quanto em número de árvores (THOMAS, 2009).

Nos dendrogramas apresentados nas Figuras 9 e 10, a amplitude do dg variou, em classes de 1 cm entre 3 e 11 cm (Figura 9), e entre 11 e 25 cm (Figura 10). A linha “A”, representa a linha de máxima densidade possível. A linha “B” indica o início do autodesbaste, ou seja, a partir deste limite se intensifica a mortalidade das árvores devido a competição. Já a linha “C” representa a densidade relativa em que ocorre o fechamento do dossel.

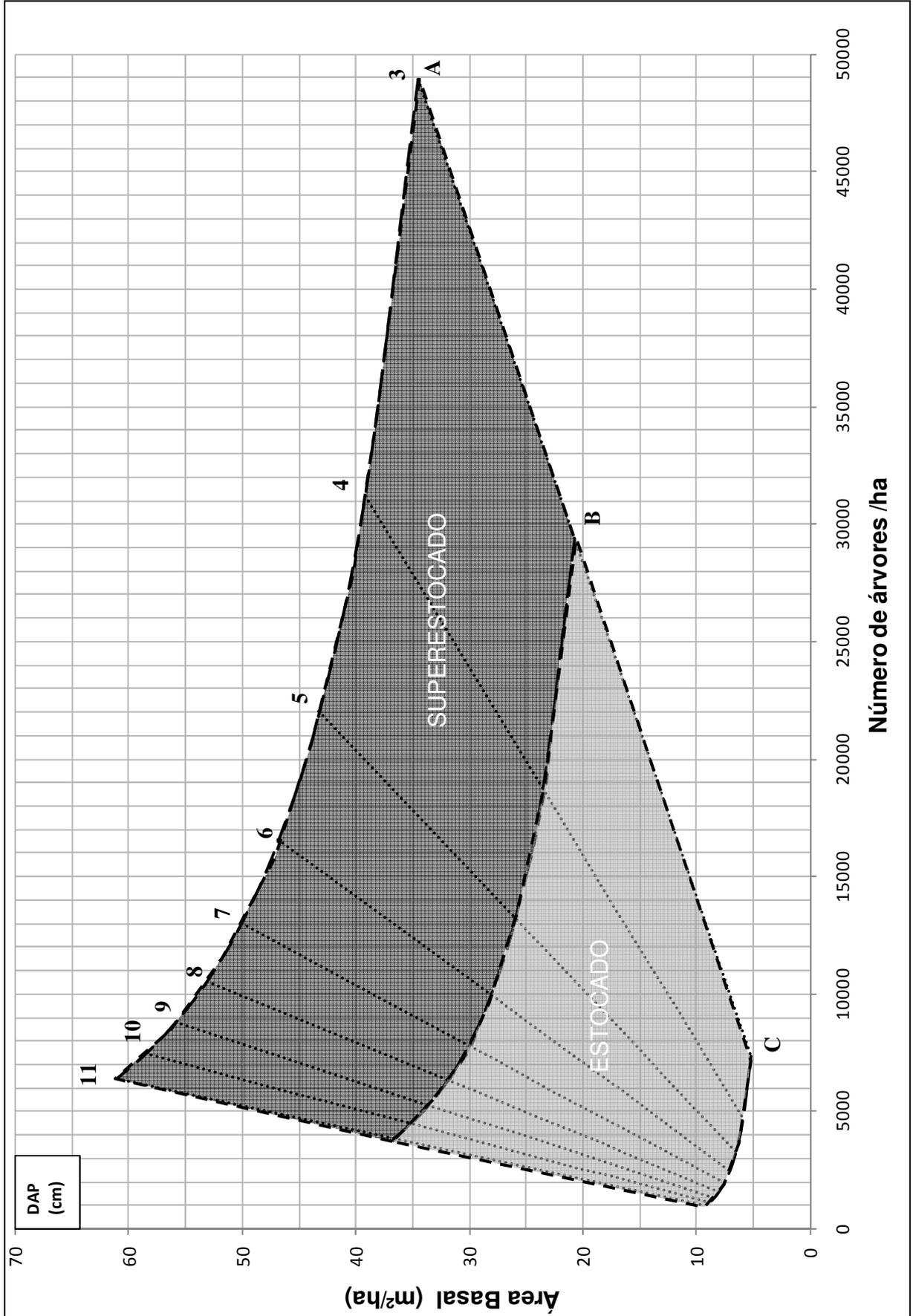


Figura 9: Diagrama de manejo da densidade para o estágio inicial da Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul, para diâmetros entre 3 e 11 cm..

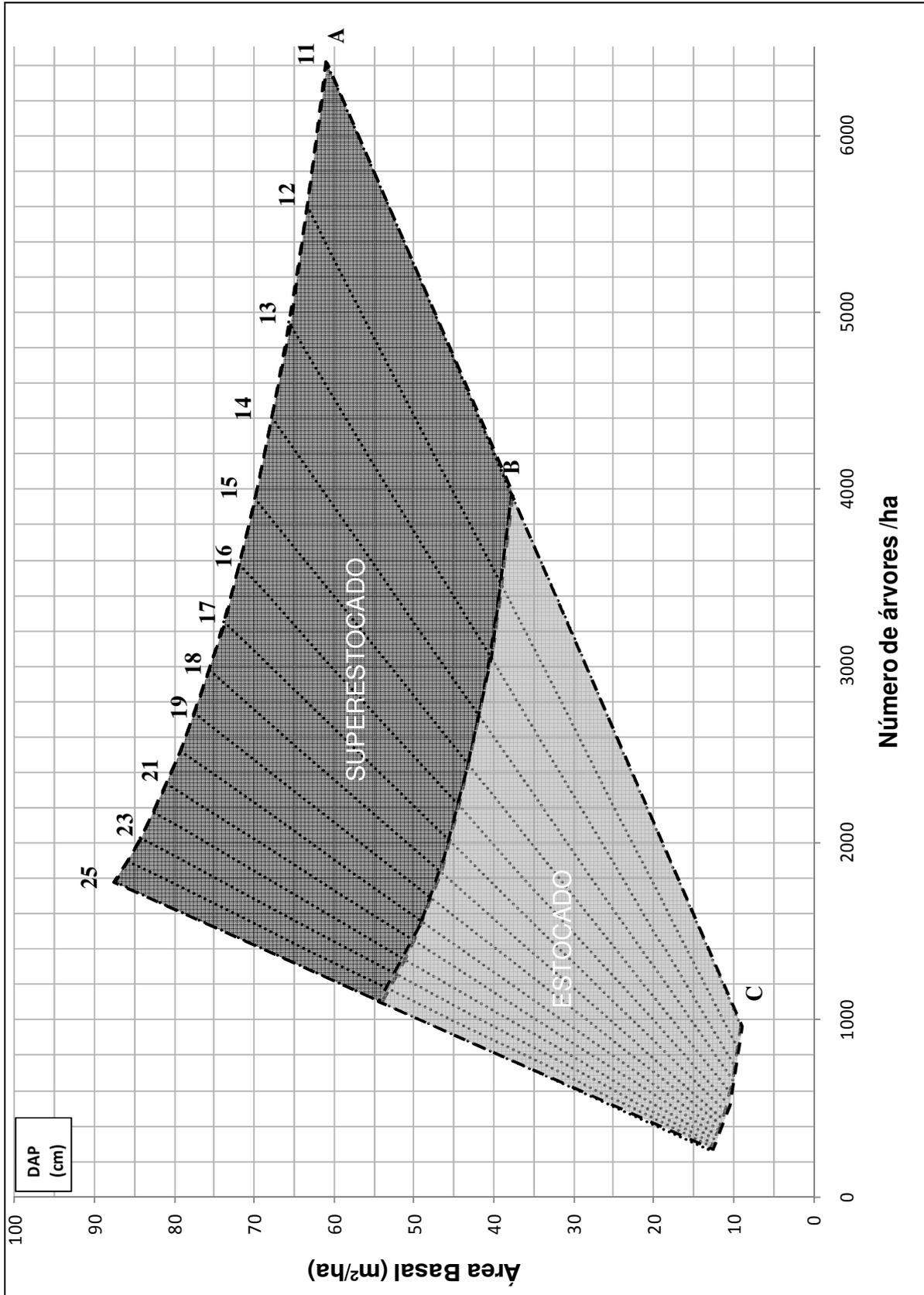


Figura 10: Diagrama de manejo da densidade para o estágio inicial da Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul para diâmetros entre 11 e 25 cm.

Para construir um diagrama de densidade do manejo, foi necessário descobrir quando ocorre a ocupação total do dossel. Com as áreas de copas das árvores livres medidas, foi calculado o número de árvores necessárias para que ocorresse a completa ocupação do dossel, que ocorreu com aproximadamente 15% da densidade máxima observada, que para o diâmetro de 25 cm equivale a 267 árvores por hectare. Selle (2009) observou que para *Hovenia dulcis*, com o mesmo diâmetro, o fechamento de copas se deu com 208 árvores por hectare.

Harrington (1997) verificou que o fechamento do dossel em plantios de *Pinus taeda* L. ocorreu com aproximadamente 25 % da densidade máxima. Para *Pinus elliottii*, Thomas (2009) observou que a linha de fechamento do dossel, que delimita o final do crescimento livre e o início da competição, representou 32% da densidade máxima. Já Saunders e Puettmann (2000), encontraram para este ponto de desenvolvimento de um povoamento de *White spruce (Picea glauca* (Moench Voss), o valor de 40% da densidade máxima possível, de modo que este ponto marca o início da ocupação completa do sítio e o princípio da produção máxima. Povoamentos em densidade menor que esta são classificados como povoamentos subestocados.

Definiu-se que o autodesbaste se intensifica com 60% da densidade máxima, como sugerido por Gezan et al. (2007). Como este valor gerou a equação que melhor estimou a linha de máxima densidade, pode-se considerar que é próximo aos 60% da densidade máxima que se inicia a mortalidade em decorrência da competição.

Depois que as linhas foram definidas, foi possível visualizar duas regiões de estoque. Entre as linhas "A" e "B" ocorre uma faixa superestocada, onde a densidade é excessiva, ou seja, há mais árvores que o sítio consegue suportar para um determinado diâmetro. A faixa entre as linhas "B" e "C" foi definida como estocada, ou seja, as árvores ocuparam todo o espaço disponível para crescer, porém os recursos do sítio não são limitantes para a sobrevivência das mesmas. Em outras palavras, acima da linha "B", o povoamento está em autodesbaste, havendo a mortalidade de indivíduos suprimidos, já próximo da linha "A", o povoamento apresenta mortalidade contínua, inclusive de indivíduos intermediários. Entre as linhas "B" e "C", o povoamento tem espaço para crescer, de modo que o manejo deveria ocorrer nesta faixa.

Assim, o manejo florestal deveria ser realizado mantendo a densidade da população entre as linhas “B” e “C”, para que os indivíduos possam crescer satisfatoriamente sem perder incremento em área basal, que ocorre quando a população está subestocada, ou seja, abaixo do limite definido pela linha “C”.

Apesar disso Nyland (2002) sustenta que níveis de até 80% poderiam ser justificáveis, mas com ocorrência de mortalidade em indivíduos dominados e intermediários. Por outro lado, Rogers (1983), afirma que densidades menores que 30% favorecem o desenvolvimento de sub-bosque e regeneração natural enquanto que densidades superiores a 60% inibem o surgimento de sub-bosque e regeneração natural. De outro modo, uma densidade muito inferior a 30% pode ser sinal da necessidade de um plantio de enriquecimento.

Então, a faixa de estoque adequada depende da finalidade da população florestal em discussão. Caso objetive-se a produção de biomassa, densidades próximas e até acima da linha “B”, poderiam ser desejadas. Porém se o objetivo for produzir árvores com maiores dimensões individuais, a densidade ao redor de uma árvore selecionada não deveria se aproximar da linha “B”, para acelerar o crescimento deste indivíduo.

Além disso, a faixa de manejo poderia variar de acordo com a composição de espécies da população, e presença ou não de espécies de interesse comercial, ou ecológico. Por exemplo, em um povoamento cujo sub-bosque seja dominado por espécies de interesse comercial, como cedro, louro, canjerana, entre outras, é interessante realizar uma intervenção um pouco mais pesada para liberar o crescimento das espécies mais valiosas. Ao contrário, se, no sub-bosque não houver espécies de interesse, ou haja pouca regeneração natural, opta-se por deixar uma maior densidade, de modo que, com uma maior ocupação do espaço, se evite a formação do sub-bosque.

Outra opção para populações florestais sem espécies de interesse comercial seriam os plantios de enriquecimento. Porém, para que uma planta possa se estabelecer é necessário que ele tenha espaço para crescer. Com o diagrama de manejo, consegue-se a informação sobre a densidade a que esta muda pode ser submetida. A partir desta informação seria possível realizar a liberação do espaço, apenas nos pontos onde as mudas seriam plantadas, permitindo que o restante da população continue se desenvolvendo.

O dendrograma de manejo de densidade tem sido uma ferramenta importante na tomada de decisões quanto a necessidade de intervenções em populações florestais. Combinando-o com o método proposto por Spurr (1962) para determinar a densidade pontual podem ser obtidas informações necessárias para realizar o manejo de árvores individuais, em florestas naturais. São exemplos dessas informações: o número de indivíduos que poderiam coexistir com uma árvore selecionada para que esta cresça de forma satisfatória, avaliar a necessidade de plantios de adensamento, entre outros.

Um diagrama de manejo de densidade para o estágio inicial de sucessão, até pode parecer pouco útil, pois não se tem nele, o diâmetro objetivo do manejo, como encontrado em estudos que abordam também populações florestais adultas. Porém, é nesta fase que devem acontecer as primeiras intervenções para transformar uma capoeira em uma floresta produtiva. Com isso a guia de densidade para o estágio inicial de sucessão será extremamente útil para subsidiar cortes seletivos, de liberação ou plantios de enriquecimento.

O número de árvores a ser suprimido nos cortes de liberação será proporcional ao período entre as intervenções. Para definir a quantidade de indivíduos a ser eliminado deve-se conhecer a variação do dg entre duas intervenções. Por exemplo, uma população florestal com um dg de 5 cm apresenta 15 mil árvores, e para que esta alcance um dg de 10 cm, não poderia ter mais que 5 mil indivíduos, logo seria necessário o corte de 10 mil árvores por hectare. Mas deve-se verificar se esta redução não liberaria muito espaço, uma vez que uma densidade mais alta favorece a formação de fustes mais retos e com maior altura comercial, se este fosse o caso, poderia se optar por duas intervenções, neste período.

Por fim, deve-se ressaltar que para o crescimento das árvores de uma população em densidade completa, foi necessária a morte de alguns indivíduos. Isso nos mostra que em florestas naturais, mesmo aquelas onde nunca foram realizadas intervenções, cortes seletivos, a mortalidade de árvores é um processo natural. Com o conhecimento da máxima densidade, é possível manejar esta vegetação para que se evite a mortalidade das árvores, e se aproveite a madeira produzida com os cortes seletivos a fim de atender a demanda por produtos de origem florestal, principalmente a madeira.

## 6. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos pelo presente estudo, conclui-se que:

a) o número de árvores foi inversamente proporcional ao diâmetro médio das árvores e a área basal aumenta suavemente com o crescimento em diâmetro das árvores.

b) A máxima ocupação do sítio, expressa pelo Índice de Densidade do Povoamento para um diâmetro médio quadrático de 25 cm, ocorre com 1779 árvores e uma área basal de 87,33 m<sup>2</sup>/ha.

c) O modelo de densidade de Reineke descreveu satisfatoriamente a linha de máxima densidade em função do dg com potência de -1,563.

d) O método que melhor descreveu o limite superior da linha de autodesbaste foi a análise de regressão obtida com os dados com densidade relativa maior que 60%, corrigindo o intercepto, cuja linha foi semelhante àquela atingida pelo ajuste manual.

e) O pior resultado foi alcançado na análise de regressão com todos os dados, que gerou um coeficiente angular diferente dos demais métodos.

f) O estudo permitiu elaborar um diagrama de densidade de manejo para os estágios iniciais da Floresta Estacional Decidual, até o diâmetro médio de 25 cm.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIGNER D., LOVELL K., SCHMIT P. Formulation and estimation of stochastic frontier production models. **J. Econometrics**. v. 6, 21–37, 1977.

ANDRAE, F. Carta aberta aos interessados nas questões florestais do Rio Grande do Sul. **Ciência & Ambiente**, v. 20, p. 115-125, jan./jun. 2000.

APG II. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, n. 141, p. 399-436, 2003.

BACKES, P.; IRGANG, B. **Árvores do Sul**: Guia de identificação & Interesse ecológico. Porto Alegre: Paisagem do Sul, 2009, 332 p.

BARATTO, J. **Organização do espaço geográfico dos municípios de Faxinal do Soturno e São João do Polêsine – RS**. Santa Maria, Departamento de Geociências, UFSM, 1992, 83 p. (Trabalho de Graduação).

BARATTO, J. **Uso da terra por classes de declividade nos municípios de Faxinal do Soturno e São João do Polêsine – RS**. Santa Maria, UFSM, 1994, 57 p. (Monografia de Especialização).

BI, H. The self-thinning surface. **Forest Science**, Bethesda. v.47, 361–370, 2001.

BI, H. 2004. Stochastic frontier analysis of a classic self-thinning experiment. **Aust. Ecol.** v. 29:p. 408-417, 2004.

BI, H.; WAN, G.; TURVEY, N. D. Estimating the self-thinning boundary line as a density-dependent stochastic biomass frontier. **Ecology**, v. 81:1477–1483, 2000.

BI, H.; TURVEY N. D. A method of selecting data points for fitting the maximum biomass-density line for stands undergoing self-thinning. **Aust. J. Ecol.** v. 22, 356–9. 1997.

BRENA, D. A.; LONGHI, S. J. Inventário Florestal In: ITAQUI, J. (Org.) **Quarta Colônia**: inventários técnicos. Santa Maria: Condesus Quarta Colônia, p 34-136, 2002.

CARVALHO JR, L. A., **Estágios iniciais de sucessão da vegetação do estado do Rio Grande do Sul: caracterização florística, fitossociológica e biométrica.** 2002, 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras** v. 2 . Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2006. 627 p.

CHAUCHARD, L.R. Aplicación de leyes fundamentales de La densidad a bosques de Nothofagus: I. Regla de los  $-3/2$  o ley Del autorraleo. **Bosque**, v. 20, p.79-94, 1999.

CIENTEC. Consultoria de Desenvolvimento de Sistemas LTDA. **Mata Nativa 2:** sistema para a análise fitossociológica e elaboração de inventários e planos de manejo de florestas nativas. Versão 2.08. Software. Viçosa, MG: 2006.

COELLI, T. A Guide to FRONTIER Version 4.1: **A Computer Program for Stochastic Frontier Production and Cost Function Estimation.** Working Paper 96/07. Centre for Efficiency and Productivity Analysis, University of New England, Armidale, 1996. 33 p.

DALMOLIN, R. S. D., et al. **Solos do município de Silveira Martins:** características, classificação, distribuição geográfica e aptidão agrícola. Santa Maria: Orium, 2008. 73 p.

DEAN, T. J.; BALDWIN, V. C. **Using a stand density-management diagram to develop thinning schedules for loblolly pine plantations.** USDA Forest Service. (Research paper, SO 275). New Orleans, LA: U.S.Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 1993. 7 p

DEL RÍO, 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**, Amsterdam, v.142, p. 79-87, 2001.

DREW, T.; FLEWELLING, J. W. Stand density management: an alternative approach and its application to Douglas fir plantations. **Forest Science**, Bethesda, v. 25, n. 3, p. 518-532, Jun. 1979.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema de Classificação Brasileiro de Classificação de Solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: 2006. 306 p.

FELFILI, J. M.; REZENDE, R. P. **Conceitos e Métodos em Fitossociologia**. Brasília: UNB, 2003, 68.

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

GOOGLE EARTH, Software, v.4.3.7191.6508, EUA. 2008. Acesso em 15 de Janeiro de 2009.

GUO, Q.; RUNDEL, P. W. Self-thinning in early postfire chaparral succession: mechanisms, implications, and a combined approach **Ecology**, v. 79 n. 2, p. 579–586, 1998.

HACK, C. **Respostas da vegetação remanescente e da regeneração natural em uma Floresta Ombrófila Mista cinco anos após intervenções de manejo**. 2007, 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

HARRINGTON, T. B. **Silvicultural approaches for thinning southern pines: method, intensity and timing**. School of Forest Resources, Geórgia, EUA, Disponível em: <[www.gfc.state.ga.us/Resources/Publications/ForestManagement/SilviculturalApproaches.pdf](http://www.gfc.state.ga.us/Resources/Publications/ForestManagement/SilviculturalApproaches.pdf)>. Acesso em 9 set. 2010. 17 p. 1997.

HELDWIEN, A. B.; BURIOL, G.A.; STRECK, N. A. O Clima de Santa Maria. **Ciência & Ambiente**, v. 38, p. 43-58, jan./jun. 2009.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Manual técnico da vegetação brasileira**. (Manuais Técnicos em Geociências, 1). Rio de Janeiro, 1992. 92p.

I-CESNO-RS, **Crescimento, produção e dinâmica de floresta inequiânea mista**. Projeto de pesquisa UFSM-FATEC, 2006. 49 p.

JACK, S.B.; LONG, J. N. Linkages between silviculture and ecology: an analysis of density management diagrams. **Forest Ecology and management**, Amsterdam, v. 86,p 205-220, 1996.

JARENKOW, J.A.; WAECHTER,J.L. Composição, estrutura e relações florísticas do componente arbóreo de uma floresta estacional no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo,v. 24, n. 3, p. 263-272, 2001.

JOHNSON, P. S.; SHIFLEY, S. R.; ROGERS, R. **The Ecology and Silviculture of Oaks**. CABI, New York, 2002. p. 544.

KAGEYAMA, P.Y. Conservação in situ de recursos genéticos de plantas. **IPEF**, v.35, p.7-37, 1987.

KARAJICECK, J.; BRINKMAN, K.; GINGRICH, S. R. Crown-competition: a measure of density. **Forest Science**, Bethesda, v. 7, n. 1, p. 35-42, Feb. 1961.

KLEIN, R.M.. Árvores nativas da Floresta Subtropical do Alto Uruguai. **Sellowia**, Itajaí, v. 24: p. 9-62. 1972.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos Trópicos**. Hamburg: GTZ, 1990. 343 p.

LEITE, P.F. & KLEIN, R.M.. Vegetação. In **Geografia do Brasil: Região Sul**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, v. 2, p.113-150. 1990.

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

LONGHI, S. J. **A estrutura de uma floresta natural de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze no sul do Brasil**. Curitiba, 1980, 198 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.

MACHADO, R. S. **Uso do sistema de informações geográficas (SIG) na determinação dos conflitos de uso dos solos no município de Silveira Martins, RS**. Santa Maria, 2003, 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

MARCHIORI, J.N.C. Florestas nativas privadas: uma análise fitogeográfica e histórica do problema no Rio Grande do Sul. In: SEMINÁRIO SOBRE A SITUAÇÃO FLORESTAL DO RIO GRANDE DO SUL, 1, 1991, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria, 1991, p.21-27.

MÁRQUEZ-LINARES, M. A.; ALVAREZ-ZAGOYA, R. Construcción de una guía de densidad para *Pinus cooperi* var. *ornelasi* con base en la clase de copa en Durango, México. **Madera y Bosques**. v.1, n.2. p.23-36. 1995.

MATTOS, R. B. de. **Produtividade e incremento de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart., *Cedrela fissilis* Vell. E *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud., em floresta nativa no Rio Grande do Sul.** Santa Maria, 2007, 106 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MEDRANO, L. A. T. **Modelos de Fronteira de Produção Estocástica: Uma Abordagem Dinâmica Para Múltiplos Produtos.** 2008. 133 p. Tese (Doutorado em Estatística) – Universidade Federal do Rio de Janeiro– UFRJ: Rio de Janeiro, 2008.

MEEUSEN W.; VAN DEN BROECK J. Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. **Int. Econ. Rev.**. v. 18, 435–44. 1977.

MITCHELL, H. C. Regulation of farm woodlands by rule of thumb. **Journal Forestry**, n.41, p.243-248, 1943.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961, 41 p.

MÜLLER, I. L. **Notas para o estudo da geomorfologia do Rio Grande do Sul.** Santa Maria: UFSM, 1970. 34p

NYLAND, R. **Silviculture: concepts and applications.** Second edition. McGraw-Hill, NewYork, USA., 2002. 704 p.

OSAWA, A.; ALLEN, R. Allometric theory explains self-thinning relationships of mountain beech and red pine. **Ecology**, v.74, n.4, p.1020-1032, 1993.

PEREIRA, R. S; et al.. Mapeamento florestal da quarta colônia. In.: ITAQUI, J. (Org.) Quarta **Colônia**: inventários técnicos. Santa Maria: Condesus Quarta Colônia, p 137-160, 2002.

PUETTMANN, K. J.; HANN, D. W.; HIBBS, D. E. Evaluation of the size-density relationships for pure red alder and Douglas-Fir stands. **Forest Science**, Bethesda, v. 39, n. 1, p. 7-27, Feb. 1993.

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

REITZ, P.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto Madeira do Rio Grande do Sul**. *Sellowia*, n. 34-35. 1983. 525p.

RIO GRANDE DO SUL. Governo do Estado. Secretária Estadual do Meio Ambiente. **Inventário do Rio Grande do Sul** [online]. Porto Alegre: FATEC/SEMA, 2002. Disponível em:<URL: <http://w3.ufsm.br/ifcrs/frame.htm>>

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

SAS Institute Inc. **SAS/STAT user's guide**. Version 8 (computer manual). SAS Institute Inc., Cary. N.C. 1999.

SAUNDERS, M. R.; PUETTMANN, K, J. **A preliminary white spruce density management diagram for the lake states**. Minnesota: Department of Forest Resources. College of Natural Resources and Minnesota Agricultural Experiment Station. University of Minnesota. 2000. 14 p. (Sraff Paper Series, n. 145).

SCHNEIDER, P. R., et al. Análise da mortalidade de *Acácia mearnsii* de Wild. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p.137-143, abr./jun. 2005.

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

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

SCHNEIDER, P. S. P., et al. Avaliação da relação densidade e diâmetro em povoamento de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 4, p. 481-491, out.-dez., 2008.

SCIPIONI, M.C. **Análise dos padrões florísticos e estruturais da comunidade arbórea-arbustiva e da regeneração natural em gradientes ambientais na floresta estacional, RS, Brasil.** 2008. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

SCOLFORO, J.R.S. **Manejo Florestal.** Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 438 p.

SELLE, G. L. **Guias de densidade e índices de sítios para *Holvenia dulcis* Thunberg na Região Central do Estado Rio Grande do Sul, Brasil.**2009, 97 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

SHAW, J.D. 2006. **Reineke's Stand Density Index: Where are we and where do we go from here?** Proceedings: Society of American Foresters 2005 National Convention. October 19-23, 2005, Ft. Worth, TX. [published on CD-ROM]: Society of American Foresters, Bethesda, MD.

SPURR, S.. **Forest Inventory.** New York: The Ronald Press Company, 1952. 476p.

SPURR, S.. A measure of point density. **Forest Science**, Bethesda, v. 8, n. 1, p. 85-96, 1962.

SOLOMON, D.S.; ZHANG, L. Maximum size–density relationships for mixed-hardwood forest stands in New England. In: **Proceedings of the Second International Symposium Integrated Tools for Natural Resource Inventory in the 21st Century at An International Conference on the Inventory and Monitoring of Forested Ecosystems**, Boise, pp. 570–579, 1998.

SOLOMON, D.S.; ZHANG, L. Maximum size–density relationships for mixed softwoods in the northeastern USA. **Forest Ecology and management**, Amsterdam, v.155, p. 163-170, 2002.

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.

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

TÉO, S.J., et al. Índice de densidade do povoamento para bracatingais nativos da região Metropolitana de Curitiba, PR. **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.** 2009, 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

VACCARO, S. **Caracterização fitossociológica de três fases sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual, no município de Santa Tereza – RS.** 1997. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1997.

VACCARO, S. **Crescimento de uma Floresta Estacional Decidual, em três estágios sucessionais, no município de Santa Tereza, RS, Brasil.** 2002. 153 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

VANDERSCHAAP, C. L. **Modeling maximum size-density relationships of loblolly.pine (*Pinus taeda* L.) plantations.** 2006, 171 f. Dissertation Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.

VELOSO, H.P. Sistema Fitogeográfico. In: IBGE (Ed.). **Manual técnico da vegetação brasileira.** Série Manuais técnicos em Geociências, v.1. Brasília: IBGE, 1992. p. 8-38.

WEISKITTEL, A.; GOULD P.; TEMESGEN, H. Sources of variation in the self-thinning boundary line for three species with varying levels of shade tolerance. **Forest Science**, Bethesda. v. 55 , p. 84–93. 2009.

WILSON, F. G. Numerical expression of stocking in terms of height. **Journal Forestry**, v.44, p.758-761, 1946.

WOODALL, C. W.; MILES, P. D.; VISSAGE, J. S. Determining maximum stand density index in mixed species stands for strategic-scale stacking assessments. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 216, p. 367-377, 2005.

YODA, K. et al. Self-thinning in over rowed pur stands under cultivated and natural conditions. **Journal Biology**, London, v. 14, n.1., p. 107-129, Jan./Dec. 1963.

ZANINI, A. **Regulação econômica no setor brasileiro: uma metodologia para definição de fronteiras de eficiência e cálculo do fator X para empresas distribuidoras de energia elétrica.** 2004, 147 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

ZEIDE, B. Analysis of the 3/2 power law of self-thinning. **Forest Science**, Bethesda, v.33, n.5, p.17-537, 1987.

ZHANG, L., et al.. A comparison of alternative methods for estimating the self-thinning boundary line. **Can. J. For. Res.** v. 35: 1507-1514. 2005.