

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

**GUIAS DE DENSIDADE E ÍNDICES DE SÍTIOS PARA
Hovenia dulcis Thunberg NA REGIÃO CENTRAL DO
ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

TESE DE DOUTORADO

Gerson Luiz Selle

**Santa Maria, RS, Brasil
2009**

GUIAS DE DENSIDADE E ÍNDICES DE SÍTIOS PARA
Hovenia dulcis Thunberg **NA REGIÃO CENTRAL DO**
ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

POR

GERSON LUIZ SELLE

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

Orientador: Prof. Dr. Frederico Dimas Fleig

Santa Maria, RS, Brasil
2009

Selle, Gerson Luiz

S467g

Guias de densidade e índices de sítios para *Holvenia dulcis* Thunberg na Região Central do Estado Rio Grande do Sul, Brasil / por Gerson Luiz Selle ; orientador Frederico Dimas Fleig. - Santa Maria, 2009.

100 f. ; il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2009.

1. Engenharia florestal 2. *Holveni dulcis* 3. Diagramas de densidade 4. Índice de densidade de povoamento 5. Curvas índice de sítios I. Fleig, Frederico Dimas, orient. II. Título

CDU: 630*2

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

© 2009

É permitida a reprodução de partes ou do todo deste trabalho com a devida citação da fonte.
Endereço eletrônico do autor: gersonluizselle@gmail.com / hs@smail.ufsm.br

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Tese

**GUIAS DE DENSIDADE E ÍNDICES DE SÍTIOS PARA *Hovenia dulcis*
Thunberg NA REGIÃO CENTRAL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO
SUL, BRASIL**

elaborada por
Gerson Luiz Selle

como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

Frederico Dimas Fleig, Dr.
(Presidente/Orientador)

Fábio Luiz Fleig Saidelles, Dr. (FEPAGRO)

Rodrigo Borges de Mattos, Dr. (MPE)

Elódio Sebem, Dr. (UFSM)

Miguel Antão Durlo, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 27 de fevereiro de 2009.

Sabemos muito pouco o que nós somos e menos ainda o que podemos ser!
Lord Byron.

A meus Pais, pelo exemplo de pessoas.
Dedico!

AGRADECIMENTOS

Ao pai celestial, Deus, pela vida;

Aos meus pais, João Antonio e Vilma Carmelinda, pelas lições de vida, ensinando-me a ser correto e justo, e por terem me encaminhado, quando seu dependente, sempre em direção aos estudos e a crescer como pessoa;

À minha família, pelos incentivos e compreensão nos momentos em que tive que me dedicar aos estudos deixando de ter uma maior participação no convívio familiar;

Ao meu inesquecível amigo e grande incentivador Professor Dr. Juarez Martins Hoppe (*in memórium*);

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria, por mais essa oportunidade de aperfeiçoamento dos estudos;

Ao meu orientador Dr. Frederico Dimas Fleig e ao co-orientador Dr. Paulo Renato Schneider pelos esforços, repetindo inúmeras vezes suas explicações com o objetivo de me fazerem entender e por estarem sempre à disposição auxiliando nas dúvidas;

À Fundação de Pesquisa Agropecuária – FEPAGRO Florestas Boca do Monte, Santa Maria, por disponibilizar a área de onde foram coletados partes dos dados para a elaboração deste trabalho;

Aos amigos e colegas de formação profissional Engenheiros Luiz Antônio Albernadri, Thiago Augusto da Cunha e Jorge Diefenteller, parceiros incansáveis na coleta dos dados para a elaboração deste trabalho;

Em especial, às grandes amizades feitas durante o curso e que ficarão gravadas para sempre como exemplos de amizade e coleguismo: Elisabete Vuaden e Evaldo Braz Muños;

Aos demais amigos e colegas: Floriano Pagel, Dalva Pauleski, Cláudio Thomas, Roberto Schaff Corrêa, Clandio Alberto Marchi Rosa, Cerlene Machado, Naira Maria Segatto, Tarso Michelotti e Roberto Farias Pinheiro Machado, por terem, de uma forma ou de outra, contribuído para que eu pudesse chegar ao fim de mais esta jornada.

A todos minha gratidão, de coração!

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

GUIAS DE DENSIDADE E ÍNDICES DE SÍTIOS PARA *Hovenia dulcis* Thunberg NA REGIÃO CENTRAL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

AUTOR: GERSON LUIZ SELLE

ORIENTADOR: FREDERICO DIMAS FLEIG

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 27 fevereiro de 2009

O objetivo principal deste trabalho é construir curvas de índice de sítio relacionando altura dominante e idade e elaborar diagramas de manejo de densidade (DMD), para populações de *Hovenia dulcis* localizadas na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Para tanto, foram utilizadas informações de 4 povoamentos, com idades de 25 anos, localizado na Fundação de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), e de uma população de árvores livres, com DAPs variando de 5 a 45 cm, localizado no campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), ambos no município de Santa Maria. Para a construção dos índices de sítios, coletaram-se informações de 18 árvores dominantes, nos 4 povoamentos localizados na FEPAGRO, observando a metodologia para análise de tronco. Nos locais onde as árvores estavam sob concorrência, os dados para a elaboração dos diagramas de manejo da densidade, foram coletados em árvores dos estratos dominante, intermediário e dominado, pelo método da densidade pontual. No local onde as árvores estavam livres de concorrência, realizou-se censo. Como resultado, na elaboração das curvas índice de sítio, o modelo de Backman foi o selecionado, ficando constatada a necessidade da construção de dois conjuntos de curvas índices, da idade de 5 a 25 anos, com intervalo de 2 metros e idade índice de 25 anos. Para o sítio I-A, foram geradas 3 curvas índice, de 22 a 24 metros e, para a união dos Sítios I-B+II+III, 6 curvas índices de 8 a 18 metros. Também foi possível concluir que o modelo de Reineke ajustou-se satisfatoriamente para estimar as linhas de densidade de fechamento do dossel e de autodesbaste, com coeficientes angular se aproximando muito de -1,5, para ambas, ficando demonstrado que a lei da potência de $-3/2$ de autodesbaste foi contemplada e que se aproximou muito da hipótese postulada por Reineke. A densidade populacional, para o início da total lotação do dossel, foi de 42,5% do número máximo de árvores que o local permite, sendo que com os dados coletados foi possível construir diagramas para o manejo da densidade, dos 5 aos 31 cm de diâmetro da árvore de área basal média.

Palavras-chave: Diagramas de densidade, uva-do-japão, curvas índice de sítio.

ABSTRACT

Tese de Doutorado
Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

DENSITY GUIDES AND SITES INDEXES FOR *Hovenia dulcis* Thunberg IN THE CENTRAL REGION OF THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL

AUTHOR: GERSON LUIZ SELLE

ADVISER: FREDERICO DIMAS FLEIG

Place and Date of Defense: Santa Maria, RS, Brazil, February 27th, 2009

The main objective of this dissertation is to build site index curves relating dominant height and age and to elaborate density management diagram (DMD) for individuals of *Hovenia dulcis* located in the central area of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. To do that, it was used information from 4 stands, aged 25, located at Fundação de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) and from a population of free trees, with DAPs varying from 5 to 45 cm, located at the campus of Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), both in the municipal district of Santa Maria. For the construction of the sites indexes, information from 18 dominant trees was gathered in the 4 stands located at FEPAGRO, observing the methodology for trunk analysis. In places where trees were under competition, data for the elaboration of the density management diagrams were collected in trees of dominant, intermediate and dominated strata, considering the method of the punctual density. In the place where trees were free from competition, census was made. As a result, in the elaboration of the site index curves, the Backman model was selected, being verified the necessity of construction of two groups of index curves, from 5 to 25 years-old, with interval of 2 meters and index of 25. For the Site I-A, 3 index curves were created from 22 to 24 meters and, for the join of the Sites I-B+II+III, 6 index curves from 8 to 18 meters were produced. It was also possible to conclude that the Reineke model adjusted itself to calculate the closing density lines of the dossal and of the self-thinning, with angular coefficients very close to -1.5, for both of them, being demonstrated that the potency law of $-3/2$ of self-thinning was taken into account and that it was very similar to the hypothesis postulated by Reineke. The population density, for the beginning of the total capacity of the dossal, was of 42.5% of the maximum number of trees that the place allows, and that, with the collected data, it was possible to build diagrams for the density management, from the 5 to the 31 cm of diameter of the tree of medium basal area.

Keywords: Density Diagram, *Hovenia dulcis* Thunberg, Site Index Curves.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de manejo de densidade elaborada por Saunders; Puettman (2000) para <i>Picea glauca</i> , nos Estados Unidos (A = linha de máxima densidade, B = início da mortalidade, C = início da máxima produtividade, D = densidade de fechamento das copas, B-C = faixa de densidade ótima para a espécie).	32
Figura 2 – Aspecto do povoamento de <i>Hovenia dulcis</i> (maio de 2008) – queda da folhagem.....	35
Figura 3 – Localização das populações de <i>Hovenia dulcis</i> onde foram coletados os dados (Fonte: Google Earth, 2008).....	36
Figura 4 – Arranjo inicial e nova ordenação da população no Sítio I, de <i>Hovenia dulcis</i>	39
Figura 5 – Aspecto do sub-bosque do Sítio I de <i>Hovenia dulcis</i> , com 25 anos.	40
Figura 6 – Aspecto do sub-bosque do Sítio II de <i>Hovenia dulcis</i> , com 25 anos.	41
Figura 7 – Aspecto do sub-bosque do Sítio III de <i>Hovenia dulcis</i> , com 25 anos.	43
Figura 8 – Árvores dominantes de <i>Hovenia dulcis</i> amostradas por análise de tronco.	54
Figura 9 – Ajuste das curvas guia traçadas, com o modelo de Backman, para os sítios de <i>Hovenia dulcis</i> estudados.	60
Figura 10 – Delimitação do número de curvas índice de sítio, para <i>Hovenia dulcis</i> dos Sítios I-A e I-B+II+III, localizados na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.	62
Figura 11 – Curvas índice de sítio, para <i>Hovenia dulcis</i> do Sítio I-B+II+III, localizado na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.	63
Figura 12 – Curvas índice de sítio, para <i>Hovenia dulcis</i> do Sítio I-A, localizado na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.	63
Figura 13 – Confiabilidade e estabilidade das curvas índice, para o Sítio I-A, de <i>Hovenia dulcis</i>	64

Figura 14 – Confiabilidade e estabilidade das curvas índice, para o Sítio I-B+II+III, de <i>Hovenia dulcis</i>	65
Figura 15 – Linha de fechamento do dossel, elaboradas com árvores livres de concorrência de <i>Hovenia dulcis</i> , em escala logarítmica.	66
Figura 16 – Linha de autodesbaste, para <i>Hovenia dulcis</i> , em escala logarítmica.	69
Figura 17 – Ajustes dos diâmetros de copa (dc) em função dos diâmetros do fuste (dap) para os estratos e sítios, de <i>Hovenia dulcis</i>	74
Figura 18 – Ajuste de modelos que expressam as linhas de ocupação, para os estratos dominante (Sítio I-A) e a união do dominado+intermediário (Sítios I-A e I-B)+dominante (Sítio I-B), de <i>Hovenia dulcis</i> , em escala logarítmica.	75
Figura 19 – Limite inferior e superior de ocupação dos locais, linhas de fechamento do dossel e autodesbaste, de <i>Hovenia dulcis</i> , em escala logarítmica.	76
Figura 20 – Linhas de densidade e faixa de manejo, para <i>Hovenia dulcis</i> , localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, em escala logarítmica.	78
Figura 21 – Diagrama de densidade, para <i>Hovenia dulcis</i> , localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Parte 1).	79
Figura 22 – Diagrama de densidade, para <i>Hovenia dulcis</i> , localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Parte 2).	79
Figura 23 – Linhas de densidade e de manejo para <i>Hovenia dulcis</i> , localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.	81
Figura 24 – Simulação de aplicação de desbastes sobre o diagrama de manejo de densidade, para <i>Hovenia dulcis</i>	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Reestruturação do experimento, dividido em dois sítios, com base na altura dominante de Assmann de cada parcela, de <i>Hovenia dulcis</i>	39
Tabela 2 – Árvores livres de concorrência de <i>Hovenia dulcis</i> levantadas no campus da UFSM (Sítio IV).....	45
Tabela 3 – Resultados estatísticos obtidos no ajuste dos modelos de Backman e Richard's de três coeficientes para cada árvore.....	55
Tabela 4 – Valores ponderados das estatísticas obtidos no ajuste dos modelos de Backman e Richard's, de três coeficientes, para cada sítio.....	56
Tabela 5 – Análise de covariância com o modelo de Backman, para teste de tendência, entre os sítios de <i>Hovenia dulcis</i>	57
Tabela 6 – Análise de covariância com o modelo de Backman, para teste de nível, entre os Sítios I-B, II e III de <i>Hovenia dulcis</i>	58
Tabela 7 – Estatística dos ajustes da equação de Backman para os dois locais semelhantes de <i>Hovenia dulcis</i>	59
Tabela 8 – Valores das curvas índice de sítio para <i>Hovenia dulcis</i> , de dois locais (Sítio I-A e Sítio I-B+II+III) localizados na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.	61
Tabela 9 – Área basal e número de árvores por hectare, das unidades amostrais da população sob concorrência, de <i>Hovenia dulcis</i>	68
Tabela 10 – Correlações de Pearson entre as variáveis diâmetro da copa (dc) e diâmetro do fuste (dap), de <i>Hovenia dulcis</i> , localizadas nos diferentes estratos (dominante, intermediário e dominado) e locais (Sítios I-A e I-B).....	71
Tabela 11 – Análise de covariância, para teste de tendência, do diâmetro de copa, entre os sítios e estratos de <i>Hovenia dulcis</i>	71
Tabela 12 – Análise de covariância, para teste de tendência, do diâmetro de copa, entre os estratos dominantes dos Sítios I-A e I-B, de <i>Hovenia dulcis</i>	72

Tabela 13 – Análise de covariância, para teste de nível, do diâmetro de copa, entre os estratos dominantes dos Sítios I-A e I-B, de <i>Hovenia dulcis</i>	73
Tabela 14 – Análise de covariância, para teste de tendência, do diâmetro de copa, entre os estratos intermediários + dominados, dos Sítios I-A e I-B, de <i>Hovenia dulcis</i>	73
Tabela 15 – Densidade populacional para as linhas A, B, C e D, de <i>Hovenia dulcis</i> , localizada no centro de estado do Rio Grande do Sul, Brasil.	80
Tabela 16 – Plano de aplicação de desbastes para condução de um povoamento de <i>Hovenia dulcis</i> implantado com densidade inicial de 1.667 árvores/ha, em local com índice de sítio de 20 a 24 metros.	83

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos específicos	16
3 REVISÃO DA LITERATURA	17
3.1 Análise de tronco	17
3.2 Classificação de sítios florestais.....	18
3.3 Densidade e competição	21
3.4 Árvores livres de concorrência	25
3.5 Variáveis morfométricas	26
3.6 Diagramas de manejo de densidade	28
4 MATERIAL E MÉTODOS	34
4.1 Caracterização da espécie	34
4.2 Localização das áreas de estudo	36
4.3 Caracterização dos locais de coleta	37
4.3.1 Sítio I	37
4.3.2 Sítio II	41
4.3.3 Sítio III	42
4.3.4 Sítio IV.....	43
4.4 Coleta dos dados	44
4.4.1 Para construção das curvas índice de sítio pela altura dominante.....	44
4.4.2 Para construção das guias de densidade.....	44
4.4.2.1 Árvores livres de concorrência	44
4.4.2.2 Árvores sob competição	45
4.5 Construção das curvas índices de sítio	47

4.6 Construção das guias de densidade	49
4.6.1 Linha de densidade de fechamento do dossel	49
4.6.2 Linha de ocupação do povoamento	50
4.6.3 Linha de máxima densidade de ocupação	51
4.6.4 Diagramas de densidade e faixa de manejo	52
4.7 Processamentos dos dados	53
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
5.1 Índices de sítios para <i>Hovenia dulcis</i>	54
5.1.1 Definição do modelo matemático	54
5.1.2 Comparação do crescimento em altura entre os sítios.....	57
5.1.3 Confeção das curvas índice de sítio	60
5.1.4 Confiabilidade e estabilidade das curvas de índice de sítio	64
5.2 Guias de densidade com base na classe de copa	66
5.2.1 Árvores livres de concorrência	66
5.2.1.1 Linha D ou de densidade de fechamento do dossel.....	66
5.2.2 Árvores sob concorrência.....	67
5.2.2.1 Linha A, de máxima densidade ou de autodesbaste	67
5.2.2.2 Linhas de ocupação da população	70
5.2.3 Diagramas de densidade e faixa de manejo para <i>Hovenia dulcis</i>	77
5.3 Simulação de desbastes auxiliada pelo diagrama de manejo	82
6 CONCLUSÕES	85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

1 INTRODUÇÃO

No cenário florestal atual o meio científico tem importante papel a desempenhar, fazendo com que às espécies atualmente plantadas tenham seu rendimento maximizado, e que sejam pesquisadas novas espécies para aumentar o restrito grupo sobre o qual se tem o domínio do processo produtivo, que vai desde o plantio até a colheita, passando pela condução dos povoamentos.

Sempre que se pensa em conduzir bem uma floresta visando planejar e maximizar a produção madeireira, faz-se necessário saber o potencial produtivo do local sob o qual será implantado o povoamento. De posse destes dados é possível identificar no local, diferentes classes de produtividade que são denominadas de sítios.

Para isso, primeiramente, devemos saber como é o "mundo" de uma planta. Num povoamento, uma árvore é influenciada por diversos fatores, entre eles, os genéticos integrados com o meio ambiente o qual compreende os fatores climáticos, solo, topográficos e a competição intra e inter específicas de vegetais e animais.

A interação de todos estes fatores sobre a planta expressa a qualidade do sítio. Onde as condições de crescimento são boas o sítio é considerado bom e vice-versa.

Entretanto, determinado sítio pode ser excelente para uma espécie e ser ruim para outra, indicando que a qualidade do sítio deve ser definida individualmente para cada espécie.

Dentro deste contexto, são muitos os métodos que podem ser utilizados para a construção de índices de sítio. De acordo com o ambiente e as interações com o homem, as árvores apresentam taxas de crescimento diferenciadas ao longo do tempo e, contudo, é possível construir fundamentos matemáticos para estimar o

crescimento delas, nos diferentes locais e, definir o que cada sítio pode produzir de forma a maximizar os rendimentos do empreendimento florestal.

Também é possível afirmar que, em determinado sítio, o espaço é um fator determinante que controla a taxa de crescimento das árvores, sendo descrito como densidade. Dentre as medidas diretas de densidade esta o número de árvores, que pode ser obtido de forma fácil, estando relacionado com a idade e o sítio, além do grau de utilização da área. Isso porque, o número de árvores pode variar sem afetar a densidade, o que depende do grau de ocupação do espaço físico pela área das copas e pelo sistema radicular das árvores.

A densidade que provoca a morte é resultante da competição, por água, luz e nutrientes entre as árvores que formam a população, culminando com o domínio de algumas e a morte de outras. Esta supressão de indivíduos causada pela competição extrema, também denominada de autodesbaste, provoca um decréscimo exponencial da densidade ao mesmo tempo, porém é responsável pelo incremento do tamanho dos indivíduos.

Entretando, a quantidade e a qualidade da madeira dos povoamentos florestais estão, em grande parte, relacionada com o sítio, tratos silviculturais e principalmente com a densidade da população, além de outros fatores ligados ao ambiente. Sobre essa visão, é interessante considerar que à medida que ocorre o aumento do número de árvores, também é induzido, de forma significativa, o aumento da área basal, até o momento em que a competição entre os indivíduos é iniciada e, se estabelecendo o início da competição extrema entre a população, com a manutenção, ou mesmo, redução da área basal.

A correta regulação da densidade é a chave para uma boa condução do povoamento em conformidade com os objetivos planejados, possibilitando a predição das condições futuras do povoamento. Isso só é possível devido a evolução dos modelos matemáticos ao longo das décadas e a incorporação dos conceitos biológicos, como a competição interespecífica, baseada em algumas das inúmeras relações de densidade e tamanho, que por sua vez, referem-se às variáveis dendrométricas do povoamento, em forma de tamanho, como o número de árvores e a área basal, entre outras. Diante do emprego destas relações dendrométricas torna-se possível construir importantes ferramentas para a condução de povoamentos florestais.

Dentre essas ferramentas estão os diagramas de manejo da densidade, utilizados no planejamento de intervenções silviculturais, de maneira fácil e rápida, garantindo uma ideal ocupação do sítio, mediante um controle adequado dos níveis de competição, compatibilizando com os objetivos de produção propostos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Construir curvas índice de sítio, relacionando altura dominante e idade, e elaborar Diagramas de Manejo de Densidade para populações de *Hovenia dulcis*.

2.2 Objetivos específicos

- a) Definir entre os modelos de Backman e Richard's de três coeficientes, qual descreve melhor os crescimentos nos sítios;
- b) Elaborar curvas índice de sítio por meio da altura dominante.
- c) Analisar e definir modelos de fechamento do dosel e de autodesbaste para as populações;
- d) Testar a igualdade do coeficiente angular para todas as espécies, postulada por Reineke e a lei da potência $-3/2$ de autodesbaste, formulada por Yoda et al.;
- e) Construir diagramas para o manejo da densidade;
- g) Definir uma faixa adequada para o manejo da espécie.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Análise de tronco

A técnica de análise de tronco possibilita que seja feito o registro do crescimento passado de uma árvore (HUSCH et al., 1982) mediante a contagem e a medição dos anéis de crescimento de seções transversais tomadas a diversas alturas ao longo do fuste, permitindo que, ao analisar uma árvore adulta, seja reconstituído todo o passado desta e conseqüentemente de um povoamento (CAMPOS et al., 2002).

Barusso (1977) e Finger (1992) definem análise de tronco como o levantamento de certo número de seções transversais retiradas do tronco de uma árvore, com a finalidade de determinar seu crescimento, em diferentes períodos ao longo de sua vida.

Vários pesquisadores, entre eles Campos et al. (2002), Encinas et al. (2005) e Dacosta (2008), consideram a análise de tronco como um procedimento empregado para estudar o histórico do crescimento em diâmetro e altura de árvores, reconstruindo o perfil de seu tronco, desde a fase jovem até a idade de realização da análise, principalmente naquelas espécies que apresentam anéis de crescimento visíveis. A técnica possibilita que sejam calculados quaisquer parâmetros do tronco, a distintas idades, como: diâmetro a diferentes alturas, área basal, volume total ou comercial, crescimento em diâmetro, em altura ou em volume, etc.

O uso dessa técnica permite a obtenção de dados alternativos aos levantados pelo emprego de parcelas permanentes, podendo ser utilizados em estudos de crescimento e produção florestal, sendo seu uso restrito a espécies cujos anéis de crescimento são anuais e bem distintos (CAMPOS et al., 2002).

Alternativamente a leitura direta dos anéis de crescimento nas secções transversais já foram testadas, porém todas usam o mesmo princípio. Rigozo; Nordemann (2000) e Rosot et al. (2003) utilizaram em seus estudos uma metodologia ótica (imagens) e computacional para ler os anéis de crescimento. Na verdade, o sistema utiliza um computador, um scanner de alta resolução, ou máquina fotográfica digital, que adquire as imagens das fatias em formato digital em programa desenvolvido no ambiente IDL 5.0 (ENVI), que lê e realça as imagens. Os autores citam como vantagem do emprego da técnica fotográfica a redução de tempo na coleta dos dados, a eliminação da necessidade de transporte de grandes quantidades de material ao laboratório e a diminuição de problemas associados à contração radial das fatias.

Pela metodologia tradicional, o volume é expresso de forma seca, já a digital obtém resultados relativos a diâmetros, áreas basais e volumes “verdes”, por serem coletadas ainda no campo, refletindo, segundo Rosot et al. (2003), situações mais próximas da real.

3.2 Classificação de sítios florestais

Em termos florestais, a capacidade de um sítio é expressa em relação a sua qualidade, ou seja, estimar a capacidade produtiva de uma espécie em determinada área florestal visando a classificar e a prever a sua produção (SELLE, 1993).

Segundo Silva (2007), em se tratando de povoamentos florestais, a capacidade produtiva do local se relaciona com os fatores que determinam o crescimento das árvores, sendo eles, técnicos ou ambientais. A inter-relação entre esses fatores, em conjunto com a espécie estudada, determina a capacidade produtiva do local para a espécie, e essa capacidade de produzir é o resultado da interação dos fatores do meio com a comunidade local.

Existem muitas conceituações sobre sítio florestal na literatura, mas todas conduzem ao mesmo princípio. Uma das primeiras definições foi feita por Spurr (1952), correspondendo à soma das condições efetivas sobre as quais uma planta ou comunidade se desenvolve. Sammi (1965), por sua vez, conceituou sítio de forma bem prática. Para ele, sítio é a classificação de uma determinada área referindo-se a

sua capacidade de produzir madeira. Já Grey (1980) definiu o termo como um complexo integrado de todos os fatores ambientais dentro de uma área prescrita.

James (1969) afirma que, ao classificar sítios, entende-se estar voltado para dois propósitos principais: o de identificar o potencial de produtividade, objetivo esse mais importante, e também o de fornecer uma estimativa de referência para diagnosticar e prescrever o manejo do solo.

Historicamente, as primeiras aplicações dessas conceituações foram aplicadas no século XIX na Alemanha. O primeiro estudo sobre o assunto foi feito pelo botânico, engenheiro florestal e político finlandês Cajander, que, no início do século passado, criou a teoria das tipologias florestais. Considerando essa teoria, um sítio era classificado a partir da percentagem existente de cada espécie na vegetação ao nível do solo (PARVIAINEN; NAUMANN, 1986).

Na classificação de sítios, dois métodos distintos são citados: o ambiental, que envolve os fatores físicos, topográficos e climáticos da região, e o das medições, cuja classificação é feita avaliando a capacidade de produção de cada unidade expressa pela altura dominante. Outra alternativa consiste na integração dos dois métodos, de modo a correlacionar a altura dominante com fatores do local como do solo, altitude, topografia, etc. (SELLE, 1993).

Por outro lado, Dacosta (2008) salienta que os métodos de classificação de sítios podem também ser divididos em diretos e indiretos. Os primeiros requerem a existência atual ou no passado de espécies de interesse no local onde a qualidade será avaliada. Segundo a pesquisadora, esses métodos dividem-se em: a) estimação pelo histórico da produção; b) estimação baseada em dados de volume do povoamento, e c) estimação baseada em dados de altura do povoamento. Já os métodos indiretos são divididos em: a) estimação pelas relações interespécies; b) estimação pelas características da vegetação inferior, e c) estimação pelos fatores topográficos, climáticos e edáficos.

No entanto, o método mais usado, segundo uma série de autores, é aquele que emprega a altura das árvores alcançada pelo povoamento nas diferentes idades de seu desenvolvimento. Por convenção, a altura dominante alcançada em uma determinada idade, recomendada próximo à idade de rotação, tida como "idade chave, índice ou de referência", é denominada de índice de sítio (SELLE, 1993).

A identificação da curva da altura sobre a idade, referenciada à altura na idade índice, define os índices de sítio absolutos. Da mesma forma, a relação

altura/idade poderia ser identificada por números romanos (I, II, III, respectivamente, indicando do melhor ao pior sítio), dando origem às classes de sítio (BURGER, 1976). Também, de acordo com o método amostral que for usado para a obtenção dos dados, é definido que tipo de curva se obtém: as curvas harmônicas, anamórficas ou monomórficas e as naturais ou polimórficas (BATISTA; DO COUTO, 1986).

Na elaboração das curvas monomórficas, ajusta-se uma única função para todo conjunto de dados, obtendo-se uma curva guia. Depois disso, é adicionada uma série de curvas paralelas, com intercepto variável, acima e abaixo desta, as quais têm a mesma forma, diferindo somente em amplitude, por uma porcentagem fixa (ALDER, 1980, CLUTTER et al., 1983 e SELLE et al. 2008). Já segundo Clutter et al. (1993), para o processo de construção de curvas polimórficas, são exigidas medições repetidas, em intervalos de tempo sucessivos (parcelas permanentes), ou através da técnica da análise de tronco de espécies que apresentam anéis de crescimento visíveis. Com esses dados, ajusta-se uma função para cada árvore, Sítio ou parcela amostrada.

Moser; Hall (1969) e Ferreira (1976) consideram como dados ideais para a elaboração de uma função de crescimento os coletados de maneira contínua nos povoamentos, com as medições praticadas no final dos períodos de crescimento, desde a implantação até a idade de corte, obtendo-se uma série real de crescimento. Para Carmean (1975), os dados obtidos por análise de tronco são os mais apropriados para o desenvolvimento de curvas de índice de sítio. Já uma série de outros autores (BRUCE; SCHUMACHER, 1950; PIENNER; TURNBULL, 1973 e SCHNEIDER et al., 1988) empregaram com sucesso dados de unidades temporárias na elaboração de curvas de crescimento em altura.

As curvas de índices de sítio são construídas a partir de equações de índices do local e utilizadas para classificar, de modo quantitativo, a capacidade produtiva do lugar. Essas equações são derivadas de relações funcionais envolvendo a variável dependente altura dominante e a variável independente idade de referência (CAMPOS et al., 2002).

Para Cunha Neto et al. (1996), mais importante que as estatísticas de regressão, particularmente para a elaboração de curvas de índice de sítio, é a análise gráfica dos resíduos que se revestem de grande importância, pois possibilitam identificar se a curva da altura média das árvores dominantes é de fato

uma curva média ou apresenta tendência. O autor ressalta que as curvas monomórficas são todas elaboradas com base na curva média, e qualquer tendência implica distorção nas curvas limítrofes das classes de sítio a serem estabelecidas.

Os modelos matemáticos empregados para representar as curvas de crescimento, citados na literatura, são muito variados. Entre os mais utilizados estão os de Prodan, Richard's (com dois e três coeficientes), Backman e os de Clutter-Jons (SELLE, 1993).

3.3 Densidade e competição

O fator de competição ou concorrência entre as árvores está diretamente relacionado com o espaço vital que cada uma tem disponível para o seu desenvolvimento. As árvores que competem encontram-se envolvidas numa luta dinâmica pela existência em que muitas acabam finalmente sendo eliminadas através da seleção natural (KRAMER; KOSLOWSKI, 1960).

Existem diferentes formas de descrever ou modelar a competição entre as árvores. Estudos a esse respeito podem ser encontrados em Daniels et al. (1986), Durlo (1996) e Hasenauer (1997), que usaram as próprias características dimensionais das árvores, como o diâmetro, a porcentagem de copa, a altura de copa, dentre outras.

Para Schneider (1993) e Scheeren (2003), à medida que as árvores se desenvolvem, suas copas e raízes necessitam gradativamente de um maior espaço para continuarem a crescer e, em caso de o espaço ser restrito, instala-se o processo de concorrência, ocorrendo a morte dos indivíduos pertencentes à posição sociológica das dominadas, tendo a necessidade de se intervir silviculturalmente.

Dessa forma, a competição numa floresta é o resultado da interação de fatores do meio com as árvores, sendo a água e a luz variáveis preponderantes no estabelecimento dessa concorrência. Nessa batalha, sobressairão os indivíduos que apresentarem maior atividade fisiológica, ou seja, mais tolerantes a sombra. Porém, em lugares onde fatores como a umidade do solo e o sombreamento atuam como limitadores do crescimento, o indivíduo dominante será aquele que tolera da melhor forma esses fatores (KRAMER; KOSLOWSKI, 1960).

O compartimento seriamente afetado pela competição é a copa das árvores, pois a massa foliar é um fator determinante no crescimento do câmbio e, com isso, a dimensão da copa determina o crescimento do fuste das árvores (SPIECKER, 1981).

Assim sendo, Durlo (2001) salienta que a concorrência é o elemento que determina qual posição sociológica uma árvore ocupará no estrato de floresta, pois, tão logo se inicia essa concorrência entre as árvores, tem-se o fechamento do espaço aéreo pelas copas, começando a diferenciação entre as classes sociológicas, com alguns indivíduos se sobressaindo do dossel da floresta, enquanto outros são dominados por seus vizinhos. Além disso, também é conhecida a influência da proporção e vitalidade da copa sobre o crescimento diamétrico das árvores. Como consequência, as características morfométricas, que dependem de uma ou mais dessas variáveis, também serão determinadas pela posição sociológica dos indivíduos, tornando necessária a análise dessas relações, segregadas por estrato social. Para caracterizar as classes sociais das árvores, muitos pesquisadores propuseram diferentes formas de classificação sociológica, sendo a de Kraft uma das mais conhecidas.

O trabalho pioneiro para classificação da posição sociológica feita por Kraft (1884) baseou-se na combinação da posição sociológica com o estrato em que se encontra a copa. Segundo ele, a classificação ficou assim definida: **Pré-dominantes** – árvores com exuberante desenvolvimento de copas; **Dominantes** – árvores que compõem o povoamento principal com copas bem desenvolvidas; **Codominantes** ou **Intermediárias** – árvores que possuem copas normais, mas de fraco desenvolvimento; **Dominadas** – indivíduos que apresentam copas mais ou menos curvas, com um lado com forma de bandeira ou com dois ou mais lados suprimidos; e **Totalmente dominadas** ou **Oprimidas** – árvores que estão com as copas ainda vivas, mas num estado de total supressão ou morrendo (FINGER, 2005).

Em florestas equiâneas, a diferenciação de seus indivíduos em estratos é iniciada quando o povoamento atinge o ponto de estágio denso, alterando a relação entre a altura e o diâmetro das árvores (h/d), sendo, portanto, essa relação influenciada pela posição sociológica das árvores que, de acordo com a classe sociológica a que fazem parte, possuindo uma determinada relação h/d (HUSCH et al., 1982).

Segundo Finger (1992), a relação h/d será maior ou menor, dependendo em qual estrato da floresta a árvore pertence. Nas árvores dominantes, a altura é pouco afetada pela densidade, o mesmo não ocorrendo com as dominadas, onde a influência no crescimento é bastante pronunciada. Concernente à variável diâmetro, esta é bastante afetada pela densidade quando a árvore pertence a estratos inferiores. Dessa forma, quando se tem uma alta concorrência, a relação h/d será maior, e menor quando ocorrer o contrário.

Quando definida pelo espaçamento entre as plantas, a densidade é provavelmente a principal técnica silvicultural aplicada em plantios florestais responsável pela obtenção de madeira de qualidade, com produtividade, sendo definida em função dos objetivos traçados para o plantio (SELLE; VUADEN, 2008).

Souza (2004) define espaçamento como um elemento de relevância para o desenvolvimento das árvores, quando se consideram os aspectos tecnológicos, silviculturais e econômicos, tendo influência direta na morfologia e no crescimento dos indivíduos. Segundo o autor, o melhor espaçamento é aquele que resulta em um maior volume de madeira com a qualidade desejada.

Quanto menor a densidade de um povoamento, a madeira produzida terá uma melhor qualidade, sendo destinada para fins mais nobres como serrarias e laminação. Em contrapartida, quando o povoamento é mais denso, observam-se árvores de diâmetros menores e um grande número de árvores na classe das dominadas, produzindo madeira mais densa, destinada principalmente para fins energéticos (GOMES, 1997; BERGER, 2002).

Sanquetta (2003), ao realizar estudos em plantações de *Pinus* sp., constatou que, em plantios com menores densidades, ocorria um significativo aumento no DAP e nas variáveis a ele correlacionadas de forma direta. Também concluiu que, nas densidades menores, obtia-se um menor número de fustes livres de galhos e consequentemente de nós.

Segundo Fishwick (1976), Gomes (1997) e Berger (2002), as maiores densidades resultam em árvores mais finas. Porém, o volume total é maior devido à maior superfície ocupada pelas árvores. Essa mesma conclusão foi obtida por Carvalho (2003), ao estudar canafístula, sendo as menores médias de diâmetro diretamente relacionadas às maiores densidades.

Outro estudo sobre densidade foi realizado por Souza (2004) com a espécie nativa ipê-felpudo. Nesse caso, nas menores densidades estudadas, foram obtidos

os maiores diâmetros e alturas, conseqüentemente os maiores volumes individuais. Já Carvalho (2003) obteve o maior volume ($19,6 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), com canafístula, em espaçamento 3 x 2 m, na idade de sete anos, no estado de São Paulo.

Para Silva (2007), a densidade inicial geralmente é determinada antes da implantação, sendo possível que, durante o desenvolvimento do povoamento, o número de árvores varie, alterando conseqüentemente a densidade inicial. Isto foi confirmado quando o autor realizou estudos com canafístula e concluiu que a maior sobrevivência ocorria à medida que os espaçamentos iniciais também aumentavam.

Trabalhando com acácia, Schneider (2005) cita que a qualidade do sítio, o espaço vital e a idade são fatores determinantes e diretamente relacionados ao número de árvores por hectare remanescentes, sendo um indicador de densidade muito empregado, tendo, em povoamentos artificiais, grande valor por representar bem a distribuição espacial das árvores sobre a área.

A idéia descrita por Reineke em 1933 propõe que a relação entre o logaritmo do número de árvores por hectare e o logaritmo do diâmetro médio quadrático das árvores resulta numa linha reta e que o declive dessa reta poderia ser usado para definir os limites do estoque máximo ou o momento em que ocorre o autodesbaste (SPURR, 1952). Na prática, Reineke (1933) especifica que, quando se leva a um papel logaritmo, o número de árvores no eixo das ordenadas e o diâmetro médio no das abcissas, consegue-se uma relação linear entre estas variáveis. Esta reta resultante ajustada, que representa uma série de observações, indica o número de árvores por hectare para um povoamento de mesma idade em densidade completa.

Quanto a isso, para grande parte dos pesquisadores, a forma mais utilizada na determinação dessa linha é aquela em que as informações são levantadas sobre plantios com densidade completa, ocorrendo quando os indivíduos começam a morrer pela excessiva concorrência (falta de luz, nutrientes e água), a qual Peet; Christensen (1987) denominaram de desbaste natural ou autodesbaste. No entanto, Chapman; Meyer (1949) já salientava que, na falta de povoamentos nessas condições, o melhor método para estimar a densidade em povoamentos equiâneos consiste na determinação do índice de densidade de Reineke por ser independente da idade e da qualidade do sítio.

Porém, para Spurr (1952), a área basal dá uma idéia sobre a densidade total do povoamento, não indicando se esse total está se referindo a um grande número de árvores pequenas ou mesmo de grandes árvores. Essa dúvida, segundo

Schneider; Schneider (2008) pode ser sanada quando desmembramos da área basal dois elementos: o número de árvores por unidade de área e o diâmetro da árvore de área basal média (dg). Assim sendo, a densidade pode ser medida baseada nesses dois dados e recebe a designação de Índice de Densidade do Povoamento (IDP).

Já a lei de autodesbaste foi estudada por Lacerda; Couto (1993), a fim de tentar definir espaçamentos para *Eucalyptus*, obtendo como resposta que sítios de alta produtividade necessitam de espaçamentos menores. Para eles, quanto maior a disponibilidade dos fatores ligados à produtividade do local, maior poderá ser a lotação de árvores por unidade de área. No entanto, com o aumento do espaçamento médio entre as plantas, poderá ser aumentada a idade de corte, com a possibilidade de obtenção de indivíduos de maiores dimensões.

3.4 Árvores livres de concorrência

Segundo Durlo et al. (2004), uma árvore é considerada livre de concorrência quando ela cresce de forma isolada (solitária), não recebendo nenhum tipo de concorrência, seja aérea (pela luz e CO₂) ou subterrânea (pelos nutrientes e água). O ritmo de crescimento das árvores livres de concorrência é conhecimento importante no manejo das florestas e povoamentos florestais, com vista à sustentabilidade da produção, não interessando apenas o crescimento volumétrico da madeira, expresso pelo incremento em diâmetro e altura e pela modificação do fator de forma, mas, em maior nível de importância, também o crescimento e as modificações da forma da copa. As formas e as dimensões da copa das árvores livres são balizas determinantes para as intervenções silviculturais, quando estas estiverem crescendo em maciços florestais. Observa-se que, em algumas espécies, as copas apresentam formas estreitas e alongadas, bem esbeltas, ocupando pequenas áreas de projeção horizontal, enquanto em outras, são curtas, porém recobrando áreas maiores.

Pesquisar as relações interdimensionais das árvores livres é importante porque permite prever o espaço exigido pela árvore ao longo de seu crescimento, identificando a concorrência à qual está submetida, bem como possibilitando inferências sobre a estabilidade, vitalidade e produtividade de cada indivíduo. Esse

conhecimento também funciona como um instrumento prático nas previsões de intervenções silviculturais, principalmente quando a idade das plantas é desconhecida. As relações das formas das árvores, com as dimensões diâmetro e altura, se tornam mais importantes à medida que se trabalha com o conceito de árvores-futuro (ABETZ; OHNEMUS, 1994).

Para Durlo et al. (2004), à medida que se tem conhecimento dessas relações, podem ser usados conceitos como de altura-meta (DURLO; DENARDI, 1998) ou diâmetro-meta (DURLO et al., 2004; DURLO; DENARDI, 1998) das árvores-futuro, como indicativo de intervenções silviculturais, visto que se torna possível prever o número adequado de árvores por unidade de área, à medida que o povoamento cresce.

Atualmente, os estudos estão voltados para as formas e dimensões das copas das árvores livres e suas modificações, pois, nesse compartimento das árvores, estão sendo vislumbrada a possibilidade de criação de modelos matemáticos que caracterizem a concorrência, especialmente os que utilizam o conceito de diâmetro e copa potencial (HASENAUER, 1994) e, a partir deste, modelar funções que expressem o crescimento de povoamentos florestais (HASENAUER, 1994; HASENAUER et al., 1995; PRETZSCH, 1995; DURLO, 1996; DURLO; DENARDI, 1998; HASENAUER, 2000; DURLO et al., 2000; DELLA-FLORA, 2001 e DURLO et al, 2004).

3.5 Variáveis morfométricas

Hasenauer (1994), Hasenauer et al. (1995) e Pretzsch (1995) salientam que a morfometria de uma árvore e as variáveis daí derivadas são usadas para transmitir uma idéia das relações interdimensionais, reconstituírem o espaço ocupado por uma árvore e julgar o grau de concorrência de um povoamento, permitindo que sejam feitas inferências sobre a estabilidade, a vitalidade e a produtividade de cada indivíduo.

As principais características morfométricas das copas das árvores – como o manto de copa, volume de copa, grau de esbeltez, índice de saliência, índice de

abrangência e formal de copa – foram caracterizadas e definidas por Durlo; Denardi (1998).

Outra variável é o peso da copa ou formal da copa invertido, expresso pela relação entre o diâmetro da copa e o seu comprimento. Este índice, a rigor, é influenciado pela espécie e pela posição sociológica que a árvore ocupa. Já a área de superfície da copa é considerada como a área de assimilação, e a área de projeção da copa sobre o solo como a área ocupada pela árvore. Assim, esse índice descreve a relação entre a parte ativa da copa e sua necessidade de espaço. Quando se tem um baixo valor de peso de copa, isso significa que a árvore, para uma dada área de projeção de copa, tem disponível mais área de superfície de copa e, provavelmente, ocupe mais eficientemente que uma com maior peso de copa. Em povoamentos de mesma idade, com aproximadamente mesma altura de inserção de copa em todas as classes sociológicas, somente as classes dominadas e oprimidas têm um valor alto de peso de copa e, assim, aproveitam o espaço de forma mais eficiente. O peso de copa é pouco influenciado pelo desbaste sendo fortemente associada à genética da árvore (FINGER, 2005).

O índice de saliência é uma relação muito empregada e, relaciona o diâmetro do fuste com o diâmetro da copa. Muitos pesquisadores, entre eles, Dawkins (1963), Volkart (1969), Minckler; Gingrich (1970), Curtis (1971), Weaver (1979), Schneider (1993), Wadsworth (2000), e Hemery et al. (2005), são unânimes em afirmar que existe alta correlação entre estas variáveis e que, dependendo da espécie, na maioria dos casos, mostram ser linear ou próxima a esta, com o sítio e a densidade influenciando essa relação.

Sobre isso, Durlo; Denardi (1998) salientam que o índice de saliência, expressa quantas vezes o diâmetro da copa é maior que o diâmetro do tronco. Para eles, quando se prevê o manejo de um povoamento, não pela idade, mas pelo diâmetro atingido por seus componentes, o número máximo de árvores por unidade de área, à medida que as árvores forem crescendo, pode ser calculado por esse índice. Essa relação pode então ser utilizada como indicador de desbaste permitindo determinar, a qualquer tempo, o espaço a ser liberado ao redor de uma árvore selecionada, para que ela cresça sem competição. A mesma relação, quando elevada ao quadrado, corresponde ao índice de espaço vital. Para os autores, quanto menor for esse índice, tanto maior será a sua área basal e também o seu volume por área.

Na mesma linha de pensamento, Durlo (2001) e Tonini; Arco-Verde (2005) concluíram que ocorre um aumento na altura da inserção da copa e no índice de abrangência, enquanto que há uma diminuição do grau de esbeltez e do índice de saliência à medida que o diâmetro do fuste das árvores ganha maiores dimensões.

Já Bell (1971) usou o índice de saliência das árvores desejáveis para determinar o espaçamento e a área basal máxima, segundo a exposição da copa. Através de um sistema de espaçamento triangular, permitindo que as copas circulares se tocassem (utilizando 91% da superfície total do terreno), calculou-se o índice de saliência de 17 para a espécie *Sterculia*, correspondente a uma área basal desejável máxima de 32 m²/ha. Para a espécie *Dacryodes*, cuja razão de copa/dap foi de 19, a área basal desejável máxima seria de 25m²/ha, e 23m²/ha para as *Laureaceas*, cuja razão de copa/dap foi de 20.

Os trabalhos de Durlo (1996) e Durlo; Denardi (1998), visando ao manejo das espécies *Cabralea glaberrima*, *Cedrela fissilis* e *Cordia trichotoma*, em florestas nativas secundárias, mediante o estudo do espaço vital da árvore individual, confirmam a importância elementar das variáveis da copa para a modelagem do crescimento em diâmetro para as espécies pesquisadas, o que justifica a realização de estudos que avaliam tais parâmetros, descrevendo a dimensão da copa e suas implicações para o manejo florestal.

Contudo, ainda são poucas as pesquisas conduzidas no Brasil onde são relacionadas variáveis da copa das árvores com variáveis de fácil obtenção, como o diâmetro e a altura. Entre esses trabalhos, podem ser citados os conduzidos por Seitz (1986), Wachtel (1990), Durlo; Denardi (1998), Spathelf et al. (2000), Nutto (2001), Nutto et al. (2001), Durlo (2001) e Tonini; Arco-Verde (2005).

3.6 Diagramas de manejo de densidade

Segundo West; Bourough (1983), muitos índices de densidade têm sido propostos e utilizados pelos silvicultores, porém, nenhum deles é perfeito. As bases dos diversos índices de densidade para povoamentos utilizados até então se dividem em quatro categorias: número de árvores, número de árvores e diâmetro, número de árvores e altura, número de árvores, diâmetro e altura.

Nos últimos anos, muitas tentativas foram feitas para descrever essas relações com muitos índices de densidade testados. Entretanto, quase invariavelmente, a área basal tem sido considerada como a variável mais satisfatória. West; Bourough (1983), em um estudo detalhado de 17 medidas de densidade no mesmo povoamento do gênero *Eucalyptus*, no sul da Tasmânia, concluiu que as medidas mais complexas não eram melhores do que as mais simples, como a área basal.

Métodos mais específicos de medidas de densidade foram desenvolvidos para descrever o grau de concorrência em um determinado ponto de um povoamento. Essas medidas receberam a designação de Densidade Pontual, correlacionando o crescimento de uma árvore com a densidade de árvores em torno dela. O método de Spurr (1962) é um exemplo de uma técnica que dá uma medida de densidade pontual. Ele envolve a escolha de uma árvore ou ponto sobre o qual queremos determinar o grau de concorrência em torno das árvores, usando a teoria básica de Bitterlich da contagem angular da amostragem.

Estudos relacionados à elaboração de Diagramas de Manejo de Densidade, denominados de DMDs, primeiramente elaborados por Ginrich (1967), para povoamentos florestais são tidos como ferramentas úteis para administradores florestais, substituindo os tradicionais experimentos para definição de espaçamentos ideais. No entanto, pesquisas sobre o assunto ainda são muito escassas, principalmente em nosso país, e em menor número em espécies folhosas. O trabalho elaborado pelo U.S. Forest Service (1970), para duas espécies de folhosas (*Quercus* e *Carya*), de Illinois, EUA, o de Smith; Gibbs (1970), para *Acer saccharum* em cinco regiões dos EUA, e recentemente o de Gezan et al. (2007) com três espécies de *Nothofagus* (*obliqua*, *alpina* e *dombeyi*) no Chile são os poucos exemplos encontrados na literatura. O número de estudos é menos raro quando se trata de espécies coníferas, caso em que se podem citar os trabalhos elaborados por Márquez-Linares; Alvarez-Zagoya (1995), para *Pinus cooperi* no México; o de Saunders; Puettmann (2000), para *Picea glauca*, que crescem na região norte dos EUA e, recentemente, o de Schneider (2008), para *Pinus taeda*, na região central do estado de Santa Catarina, Brasil.

Long e Smith (1985) denominaram os Diagramas de Manejo de Densidade como uma técnica baseada na teoria do autodesbaste natural dos indivíduos de um povoamento, ocorrendo devido à competição acirrada pelo espaço aéreo, nutrientes

e a água presentes no solo. Com a limitação de ser usado em povoamentos compostos por uma única espécie, são perceptíveis as mudanças que acontecem com as variáveis diâmetro, altura, volume e densidade, com tais arranjos gráficos podendo contribuir na definição da melhor densidade para a espécie de determinado povoamento, sempre levando em conta qual a finalidade da madeira produzida.

Os primeiros estudos sobre a relação do tamanho e o número de árvores de um povoamento 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).

Para Reineke (1933), em povoamentos onde a densidade é completa, a relação entre o diâmetro médio quadrático das árvores e o número de árvores por unidade de área é linear (isto numa escala de duplo logaritmo). O autor também salienta que os parâmetros da equação são independentes da idade e do sítio e, por isso, podem ser empregados para estimar a densidade da população em função do diâmetro médio. Segundo ele, ao transpor para uma escala logarítmica a relação entre o número de árvores por unidade de área e o diâmetro médio quadrático, em povoamentos com densidade completa, tem-se uma linha reta, com um valor constante do coeficiente angular de -1,605, para qualquer espécie.

Já a lei do autodesbaste ou da potência do $-3/2$ de autodesbaste, desenvolvida inicialmente para culturas anuais agrícolas, entre as décadas de 60 e 70 por pesquisadores japoneses (YODA et al., 1963), corresponde à descrição de uma linha formada pelo logaritmo do diâmetro, volume, etc., da árvore média, com o logaritmo do número de árvores por unidade de área, em que ocorre um declive negativo de -1,5 ou $-3/2$. Um dos pioneiros a aplicar esta técnica nos Estados Unidos foi Ginrich (1967) e mais tarde seguido por Drew; Flewelling (1979). Eles observaram que poderia haver relação entre o número máximo e o tamanho das árvores que compõem povoamentos de determinada espécie, com a sustentabilidade destas em qualquer local.

Numa determinada relação de potências, o valor do coeficiente angular é tido como $-3/2$ e, ao transformar em duplo logaritmo, passa a significar a competição que as árvores fazem pela luz solar. Segundo Schneider (2008), esse conceito tornou-se de grande importância para modelos de divisão de espécies em populações mistas que na individualidade seguem a lei de potência de $-3/2$ de Yoda et al. (1963).

Ao fazer uso da lei do autodesbaste de coeficiente angular com valor igual a $-3/2$, Saunders; Puettmann (2000) estudaram a espécie *Picea glauca* e obtiveram uma relação linear pelo logarítmo da densidade de árvores em função do logarítmo do diâmetro médio quadrático, que, na Figura 1, está representada pela linha A. Segundo os pesquisadores, essa linha define o limite máximo em que a densidade pelo diâmetro é dependente da mortalidade das árvores do povoamento. Também pode ser dito que, próximo a essa linha, o volume médio dos indivíduos é grande, quando em baixa densidade, e pequeno, em alta densidade de árvores, com a faixa entre as linhas A e B tida como de um povoamento superestocado.

A obtenção da linha A para a confecção do DMD se dá através de dados de povoamentos que estejam em densidade completa, na condição de algumas árvores mortas.

Na mesma figura, a linha B delimita uma zona, de modo que, logo acima, inicia a mortalidade das árvores em consequência da excessiva competição e, logo abaixo, ocorre à máxima produção do povoamento. Já a linha C é definida como o início da zona de máxima produção que vai crescendo até atingir a linha B, conhecida como a faixa recomendada de manejo da espécie em questão, em que se atinge o estoque completo.

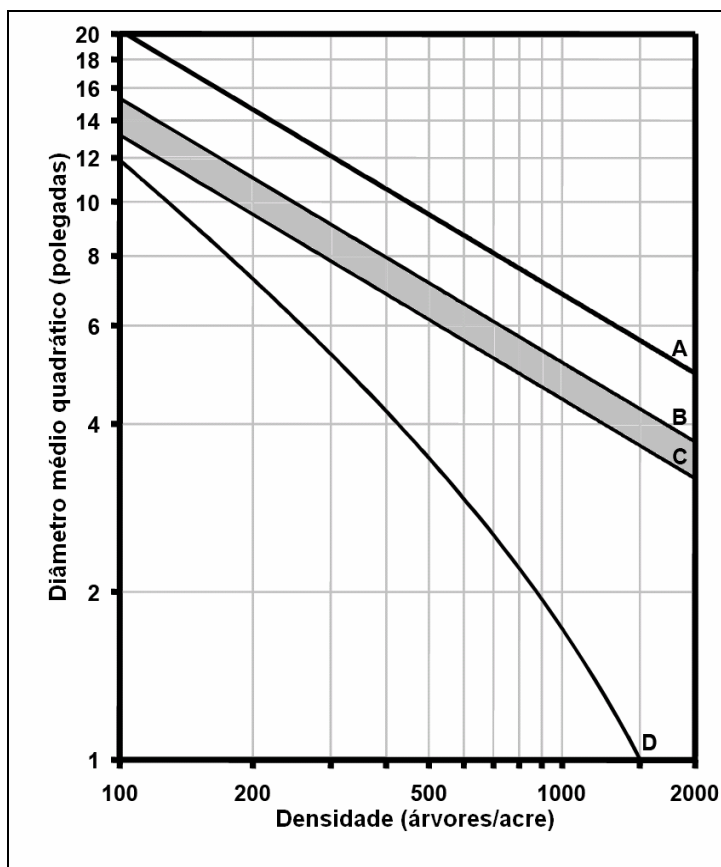


Figura 1 – Diagrama de manejo de densidade elaborada por Saunders; Puettman (2000) para *Picea glauca*, nos Estados Unidos (A = linha de máxima densidade, B = início da mortalidade, C = início da máxima produtividade, D = densidade de fechamento das copas, B-C = faixa de densidade ótima para a espécie).

Para a confecção das linhas B e C, segundo os autores, são obtidas algebricamente a partir da linha A pela densidade relativa teórica de 55 e 40%. Quanto à linha D, definida através de árvores que se desenvolvem livremente, representa a densidade de fechamento das copas.

Em estudo feito por Harrington (1997), com *Pinus taeda*, o fechamento do dossel, que corresponde à linha D da Figura 3, tem seu início a aproximadamente 25% do IDP (Índice de Densidade do Povoamento) e, entre 50 e 55% do IDP, começa a ocorrer o autodesbaste. O autor também define que a faixa de manejo do povoamento, ou seja, ponto em que devem ser aplicados os tratamentos silviculturais de desbaste situa-se entre 30 e 45% do IDP. Já para Archibald; Bowling (1995), a linha B, para *Pinus banksiana*, fica a 55%, e a D a 15% da máxima densidade, sendo essa última confirmada por Drew; Flewelling (1979).

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 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.

Estudos mais recentes foram realizados por Schneider (2008), onde pesquisou o autodesbaste e o diagrama de manejo da densidade para *Pinus taeda* em Santa Catarina, definindo que os modelos de densidade propostos por Reineke (1933), Yoda et al. (1963), Tang et al. (1994) apresentaram boa precisão estatística, com o modelo de Tang se sobressaindo com uma ótima performance, tendo seu coeficiente de determinação igual a 0,99. O autor salienta também que, quanto maior o espaçamento inicial entre as plantas, maior será o diâmetro médio no momento do início do autodesbaste da população e que o coeficiente angular de $-3/2$, proposto por Tang, não foi comprovado entre os espaçamentos analisados (1,5x1; 2,5x1; 1,5x2; 2x2; 1,5x3; 2,5x2; 2x3 e 2,5x3 m). Já os Diagramas de Manejo da Densidade elaborados mostraram-se eficientes para cada Índice de Densidade do Povoamento, permitindo estimar os valores com pouca tendência e baixo erro padrão.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da espécie

A planta é conhecida vulgarmente com os nomes uva-do-japão, uva-japonesa, banana-do-japão, caju-do-japão, mata-fome, pau-doce, chico-magro e passa-japonesa, e pertence à família das Rhamnaceae, gênero *Hovenia* e espécie *dulcis* (CARVALHO, 1994).

Segundo o mesmo autor, quanto à etimologia, o nome dado ao gênero “*Hovenia*” foi em homenagem a David Hove (1724-1787), senador alemão que ajudou Thunberg a financiar sua expedição ao sul da África, Java e Japão. Já o nome da espécie “*dulcis*” vem do latim *dulcis*, doce, pelo sabor adocicado de seus frutos.

A espécie ocorre naturalmente entre as coordenadas de 25° a 41° norte e de 100° a 142° leste de Greenwich, principalmente, na China, Japão e Coréias. É uma planta heliófila, caducifólia, alcançando alturas de 10 a 15 m, podendo chegar até a 25 m, com copa ampla. Seu diâmetro médio à altura do peito varia entre 20 e 40 cm, podendo chegar a 50 cm. Seu tronco geralmente é retilíneo e cilíndrico, apresentando fuste com até 8 m de comprimento, ramificação dicotômica, com ramos pubescentes enquanto jovem. Apresenta gemas dormentes subcorticais, rebrotando intensamente da touça, podendo ser manejada por talhadia, com rotações previstas de 10 a 15 anos (RIGATTO et al., 2001).

A casca vai de lisa a levemente fissurada, de cor pardo-escura a cinza-escura, com folhas simples, alternas, curto-pecioladas, ovaladas, acuminadas, glabras, na parte superior, e ligeiramente pubescentes, na inferior. Apresenta flores hermafroditas, pequenas, branco-esverdeadas a creme e numerosas, com fruto em

forma de uma pequena cápsula subglobosa seca de 6 a 8 mm de diâmetro, com 2 a 4 sementes, presas a um pedúnculo carnoso, cor de canela, com sabor doce e agradável. As sementes, alaranjadas ou avermelhadas, quando recém colhidas, passam a marrons e pretas com o tempo, tornando-se mais ou menos circulares. A polinização é feita principalmente por abelhas, e o florescimento ocorre, no Brasil, de agosto a fevereiro, com frutificação entre março e outubro, com a queda das folhas dando-se desde abril até o final de agosto (Figura 2). Começa a frutificar entre os 3 e 4 anos, com a dispersão das sementes feita principalmente por animais mamíferos que ingerem o fruto contendo as sementes e que após são escrementados. Já pequenos pássaros como os periquitos e as caturritas alimentam-se de partes das sementes, danificando-as (BACKES; IRGANG, 2004).



Figura 2 – Aspecto do povoamento de *Hovenia dulcis* (maio de 2008) – queda da folhagem.

Nas Américas, a espécie vem sendo cultivada na Argentina, no Paraguai e no sul do Brasil, principalmente nas regiões de climas Cfa, Cfb e Cwa, de forma isolada ou em pequenos povoamentos. Em nosso país, na bacia do Rio Uruguai, nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, no sudoeste do Paraná, são comuns pequenos plantios de uva-do-japão em propriedades agrícolas, implantados por mudas ou eventualmente por semeadura direta no terreno (RIGATTO et al., 2001).

A espécie é rústica, resistente ao ataque das formigas e geadas moderadas, não tendo problemas com pragas ou doenças que sejam limitantes ao sue

desenvolvimento, crescendo bem em solos compactados, de média profundidade a profundos, excluindo-se aqueles com excesso de umidade. No meio rural, sua madeira é utilizada para lenha e moirões, com folhas e frutos empregados na alimentação do gado bovino. Além disso, sua flor é muito apreciada por abelhas, sendo considerada uma das plantas mais melíferas, com frutos possuidores de propriedades medicinais (SELLE et al., 1993).

4.2 Localização das áreas de estudo

O estudo foi realizado em quatro populações de *Hovenia dulcis*, sendo três existentes na Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – Florestas (FEPAGRO), localizadas sob as coordenadas geográficas de 29°40'19" (latitude Sul) e 53°54'03" (longitude Oeste). A quarta população, está situada no campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), localizada sob as coordenadas geográficas de 29°43'33" (latitude Sul) e 52°43'26" (longitude Oeste), conforme Figura 3.

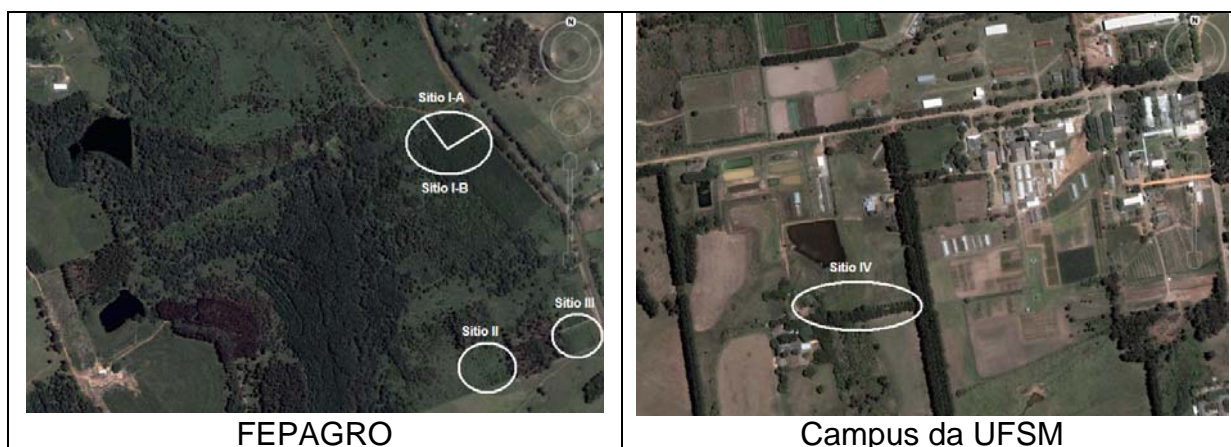


Figura 3 – Localização das populações de *Hovenia dulcis* onde foram coletados os dados (Fonte: Google Earth, 2008).

As populações localizadas na área da FEPAGRO são florestas plantadas em 1983 e receberam a denominação de Sítio I, II e III, com o Sítio I dividido em “A” e “B”. Já a população localizada no campus da UFSM, no Setor de Suinocultura do

Departamento de Zootecnia, recebeu a denominação de Sítio IV. A altitude média desses locais é de 120 m, e o clima predominante, segundo a classificação de Köpen, é do tipo Cfa, com as temperaturas médias do mês mais frio entre 13°C e 18°C, e do mês mais quentes superiores a 22°C, com a média anual também ficando com este valor. A precipitação pluviométrica fica em torno dos 1700 mm, distribuídos regularmente durante todo o ano e, com o maior número de dias com geada ocorrendo nos meses de junho e julho (MALUF, 2000).

4.3 Caracterização dos locais de coleta

4.3.1 Sítio I

Esse Sítio está acentado sobre um Argissolo Vermelho Distrófico Típico, pertencente à unidade de mapeamento São Pedro. São solos que apresentam o horizonte A espesso (em torno de 56 cm), de cor bruno-escuro a bruno-avermelhado, franco argilo arenoso, com estrutura fraca em blocos subangulares e com transição clara e plana para o horizonte B.

O horizonte B é bruno avermelhado-escuro e a parte inferior desse horizonte apresenta cores vermelhas (B₂₂ e B₃). Nesses horizontes, os teores de argila são maiores, apresentando também estrutura mais desenvolvida. As cores avermelhadas presentes nos horizontes são decorrentes de material mais grosseiro, devido a alguma influência de rochas básicas da formação Serra Geral situada próxima à área.

O perfil desse tipo de solo, segundo Abrão et al. (1988), apresenta as seguintes camadas, características físicas e composição química:

A_p – 0 a 30 cm – de cor bruno-escuro, quando úmido, franco argilo arenoso com estrutura fraca e blocos subangulares de tamanho pequeno a médio, muito poroso e muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso com transição gradual e plana, apresentando poucas raízes.

A₃ – 30 a 56 cm – de coloração bruno-avermelhado-escuro quando úmido franco argilo arenoso, com estrutura fraca blocos subangulares de tamanho pequeno

a médio; muito poroso, muito friável, ligeiramente plástico e pegajoso, apresentando transição clara e plana com pouca presença de raízes.

B₂₁ – 56 a 85 cm – com coloração bruno-avermelhado-escuro quando úmido franco argilo arenoso, de estrutura fraca e blocos subangulares de tamanho pequeno a médio, com muita porosidade, friável, ligeiramente plástico e pegajoso com transição gradual e plana, com raras raízes.

B₂₂ – 85 a 126 cm – sua cor é vermelho-escuro quando úmido com granulação do tamanho argila e estrutura moderada com blocos subangulares pequenos, muito poroso, ligeiramente plástico e pegajoso com transição clara e plana.

B₃ – 126 a 150 cm – apresenta cor vermelho-escuro quando úmido franco argiloso com cascalhos cuja estrutura é moderada com blocos subangulares pequenos, cerosidade fraca e pouca, muito poroso, friável, ligeiramente plástico e pegajoso.

Em análise física feita no local, foi detectado que a composição granulométrica do solo é composta de 22 a 49 e de 11 a 15 g/100g de solo, de argila e silte, respectivamente, com o solo apresentando uma densidade entre 1,54 e 1,74 g/cm³ e um pH, em água, que varia de 4,7 a 5,1.

A análise química demonstrou proporções de fósforo (P) e potássio (K) disponíveis que variam entre 3,4 a 14,9 e de 22 a 76 ppm, respectivamente, com um conteúdo de matéria orgânica, em g/100g de solo, variando de 0,4 a 1,8.

A população existente neste sítio é remanescente de experimento onde foram testados 5 tratamentos (4x2; 4x3; 4x4; 4x5 e 4x6 m) com 4 repetições. Cada repetição composta por 7 linhas de plantas distanciadas por 2 metros.

O terreno onde está acentado o povoamento, que caracteriza esse sítio, apresenta uma variação na declividade, refletindo no desenvolvimento da espécie, com a parte mais elevada tendo um melhor crescimento em altura. A parte mais baixa do terreno, por ter excesso de umidade nas camadas superficiais do solo, tem crescimento menor em altura.

Para este estudo, o experimento original foi considerado como uma população, sofrendo uma divisão por apresentar variação no fator sítio, identificado pela altura dominante de cada parcela. Para corrigir o problema, visando reduzir a variação interna da população, criou-se um novo arranjo para o povoamento, tendo como base a altura dominante (ASSMANN, 1970) calculada em cada parcela. Na

nova estrutura, os Blocos foram substituídos pelos Sítios “I-A” e “I-B”, conforme Tabela 1 e Figura 4.

Tabela 1 – Reestruturação do experimento, dividido em dois sítios, com base na altura dominante de Assmann de cada parcela, de *Hovenia dulcis*.

Arranjo original	Arranjo novo	Espaçamentos	h ₁₀₀ (m)
Bloco	Sítio		
B ₁	I-A	4 x 3	22,6
B ₁	I-A	4 x 6	22,0
B ₁	I-A	4 x 5	23,2
B ₁	I-A	4 x 4	22,9
B ₁	I-A	4 x 2	20,6
B ₂	I-A	4 x 5	22,4
B ₂	I-A	4 x 3	22,7
B ₂	I-A	4 x 4	24,0
B ₂	I-A	4 x 6	22,1
B ₂	I-B	4 x 2	17,9
B ₃	I-B	4 x 6	19,7
B ₃	I-A	4 x 4	22,6
B ₃	I-A	4 x 2	23,1
B ₃	I-B	4 x 5	20,2
B ₃	I-B	4 x 3	16,6
B ₄	I-B	4 x 3	19,1
B ₄	I-B	4 x 2	18,9
B ₄	I-B	4 x 4	17,4
B ₄	I-B	4 x 5	17,3
B ₄	I-B	4 x 6	17,5

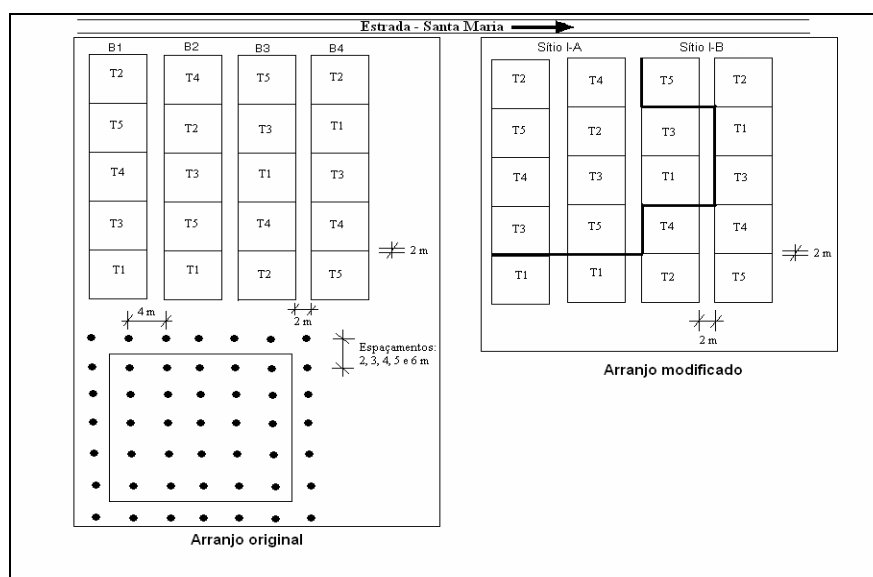


Figura 4 – Arranjo inicial e nova ordenação da população no Sítio I, de *Hovenia dulcis*.

As dimensões médias alcançadas, pela espécie no Sítio I, são de 20,5 cm, para o diâmetro e 18 m, para a altura, aos 25 anos.

Como apresentavam poucas falhas e estas ocorreram principalmente nos menores espaçamentos, as árvores estavam submetidas a diferentes níveis de competição, com a ocorrência de sobreposição de copas.

O sub-bosque é caracterizado por uma intensa regeneração natural da espécie principal, principalmente onde os espaçamentos são maiores e a altura das árvores é menor, possibilitando a entrada de grandes quantidades de luz pelo dossel. Também pode ser verificada a presença no sob-bosque de um significativo número de outras espécies, como o cedro, a canela, o camboatá-vermelho, o carvalinho, o chal-chal, a mamica-de-cadela, e a pitangueira, entre outras. Todos esses aspectos podem ser visualizados na Figura 5 a seguir.



Figura 5 – Aspecto do sub-bosque do Sítio I de *Hovenia dulcis*, com 25 anos.

4.3.2 Sítio II

Segundo Abrão et al. (1988), esse sítio apresenta o mesmo tipo de solo, com as mesmas características físicas e composição química do Sítio I, porém, como as árvores que compõem este sítio estão dispostas de forma livre, devido ao grande espaçamento entre elas, isso pode ter influenciado no desenvolvimento da espécie, atingindo, na idade de 25 anos, uma altura média de apenas 8 m e um diâmetro médio de 18 cm. No sub-bosque, podem ser avistadas presenças de espécies arbustivas, alguns exemplares de cedro e uma pequena regeneração da espécie principal (Figura 6).



Figura 6 – Aspecto do sub-bosque do Sítio II de *Hovenia dulcis*, com 25 anos.

4.3.3 Sítio III

Está localizado sobre uma formação Neossolo Litólico Distrófico Fragmentário, em que o horizonte A apresenta espessura aproximado de 30 cm, de coloração bruno-amarelado escuro, franco arenoso a franco argilo arenoso e estrutura fracamente desenvolvida em blocos subangulares, com a transição para o horizonte C ocorrendo abruptamente e a constituição desse horizonte formada de siltitos e argilitos semi-intemperizados.

O perfil do solo apresenta os seguintes horizontes, características físicas e composição química (Abrão et al., 1988):

A_p – 0 – 16 cm – de coloração bruno-escuro, quando úmido e bruno-amarelado-escuro, quando úmido amassado, franco arenosos com a estrutura fraca e constituída de blocos subangulares de tamanhos pequeno a médio com grãos simples, poroso, friável, ligeiramente plástico e pegajoso, com a transição abrupta e plana, sendo comum a presença de raízes.

A₁₂ – 15 a 20 cm – sua cor é bruno-escuro quando úmido e bruno-amarelado-escuro, quando úmido amassado, franco argilo arenoso com estrutura franca e presença de blocos subangulares pequenos ou médios e grãos simples, poroso, friável, ligeiramente plástico e pegajoso, com transição abrupta e ondulada, contendo poucas raízes.

IIC₁ – 30 a 150 cm – constituído de siltitos e argilitos semi-intemperizados.

Na análise física, a composição granulometria silte e argila foi composta de 10 a 13 e de 17 a 23 g/100g de solo, respectivamente, e uma densidade do solo de 1,63 g/cm³, com um pH, em água, entre 4,7 a 4,8.

A análise química realizada em perfil do solo constatou uma quantidade de fósforo e potássio correspondente a 3,4 e 80 ppm, respectivamente, com 1,7 a 2,3 g/100g de solo de material orgânico.

Uma característica visível no local é a condição de baixo desenvolvimento da espécie, ocasionado pela presença de uma camada no horizonte formado por siltitos e argilitos semi-intemperizados (IIC₁) acumulando água ferruginosa, de cor amarelo-escuro, condicionando uma baixa estatura das árvores, apenas 6,5 m, e um diâmetro médio de 11 cm, aos 25 anos. O sub-bosque dessa população não

apresenta formação de regeneração natural, apenas gramíneas e pequenos arbustos, conforme mostra a Figura 7.



Figura 7 – Aspecto do sub-bosque do Sítio III de *Hovenia dulcis*, com 25 anos.

4.3.4 Sítio IV

Localizado no campus da Universidade Federal de Santa Maria, no acesso ao Setor de Suinocultura do Departamento de Zootecnia, a área é composta de exemplares de *Hovenia dulcis* plantados com fins de ornamentação em ambos os lados da via. No mesmo local, também foram avaliadas unidades da espécie com origem da regeneração natural, através da disseminação das sementes de exemplares velhos existentes na área. Os diâmetros variam desde valores menores que 5 cm até valores superiores a 40 cm, com as idades não sendo determinadas. O solo do local é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, da formação Santa Maria, segundo Streck et al. (2008).

4.4 Coleta dos dados

4.4.1 Para construção das curvas índice de sítio pela altura dominante

Na determinação da árvore de altura dominante, foi utilizada a definição de Assmann, correspondente à altura média aritmética das 100 árvores mais grossas por hectare.

Nos sítios selecionou-se uma árvore de cada faixa de altura para abater e realizar a análise de tronco. No total abateram-se 18 árvores, abrangendo toda a amplitude de altura dominante presente nos Sítios I-A, I-B, II e III, obedecendo à metodologia para análise de tronco descrita por Finger (1992).

4.4.2 Para construção das guias de densidade

4.4.2.1 Árvores livres de concorrência

Como árvores livres de concorrência, consideraram-se indivíduos que compunham a população levantada no campus da Universidade Federal de Santa Maria (Sítio IV).

Foram mensurados indivíduos pertencentes a 8 classes de diâmetro, com diâmetro medido na altura do peito (dap) variando de 5 a 45 cm, totalizando 54 árvores, conforme Tabela 2.

As informações coletadas foram: dap, altura total, altura de inserção da copa e 8 raios de copa.

Os diâmetros dos fustes, medidos a 1,30 m do solo, foram mensurados com uma suta dendrométrica, com dupla medição cruzada, opostas, formando um ângulo reto entre elas, tendo-se o diâmetro médio das árvores como medida final.

Tabela 2 – Árvores livres de concorrência de *Hovenia dulcis* levantadas no campus da UFSM (Sítio IV).

Classe de diâmetro	Centro de classe	Número de árvores
5,0 – 10,0	7,5	6
10,1 – 15,0	12,5	6
15,1 – 20,0	17,5	6
20,1 – 25,0	22,5	10
25,1 – 30,0	27,5	7
30,1 – 35,0	32,5	6
35,1 – 40,0	37,5	6
40,1 – 45,0	42,5	7
Total	-	54

A medição das alturas das árvores foi realizada com o aparelho hipsômetro eletônico Vertex.

Os raios das copas foram mensurados com o auxílio de um gabarito metálico descrito por Fleig (2002), sob oito raios, com o auxílio de um clinômetro para a verificação do limite da bordadura da copa e uma trena métrica para medir o comprimento do raio.

4.4.2.2 Árvores sob competição

Como árvores sob competição foram consideradas as localizadas nos Sítios I-A e I-B que ocupam uma área de 1,3 hectares.

Originalmente, cada tratamento (parcela) continha 49 árvores, separadas entre os blocos e tratamentos por uma distância de 2 m. Cada parcela tinha uma bordadura composta de uma fileira de árvores na coluna e na linha, perfazendo 25 árvores cada.

O levantamento dos dados, desta população, foi realizado sob árvores pertencentes a três estratos, classificação esta feita com base na relação h/d, onde a altura é medida em metros e o diâmetro em centímetros. As definições dos estratos os quais as árvores deveriam pertencer tiveram as seguintes definições: **estrato dominante** – pertencem árvores cuja relação h/d assumisse valores menores que 1,0; **estrato intermediário** – a relação deveria ser igual a 1,0; e **estrato**

dominado – pertenceriam aquelas árvores que apresentassem valores superiores a 1,0.

Esta diferenciação foi estabelecida baseada na condição de que uma árvore para pertencer ao estrato dominante, sob condição de concorrência, num povoamento, possui altura maior em relação às pertencentes aos demais estratos. Isso porque em povoamentos submetidos à concorrência as árvores desenvolvem-se para atingirem o dossel, em busca da luz, provocando um maior aumento da dimensão altura em relação ao diâmetro, tendo uma relação h/d menor. Já as árvores que não conseguem atingir o estrato dominante (intermediárias e dominadas), devido à escassez de luz, não atingem grandes alturas, mas conseguem crescer em diâmetro, devido à presença de copas grandes, tendo uma relação h/d maior quanto maior for o grau de supressão sofrido (dominada).

Para a determinação do número de árvores e a área basal, utilizou-se a metodologia apresentada por Spurr, denominada de Densidade Pontual.

Segundo Spurr (1962), o método é indicado para avaliar a densidade em pontos individuais dentro de um povoamento. Ele utiliza um ângulo fixo e pré-determinado, muito semelhante ao método de Bitterlich.

Por este método, todas as árvores maiores que o ângulo são incluídas na unidade amostral. Todos os indivíduos próximos à árvore escolhida como central são avaliadas para verificação da inclusão, ou não, na unidade amostral. Essa avaliação é baseada no FAB (fator de área basal) de 2,3, proposto por Daniels et al. (1986), para identificar árvores competidoras.

A ordem de inclusão das árvores competidoras na parcela é feita através de um ranqueamento entre o diâmetro da árvore em análise e a distância desta até a árvore central. Com isso, quanto maior for essa relação, maior o ângulo criado entre a árvore central e as tangentes da árvore em análise, indicando maior influência, com esse processo sendo repetido com todas as árvores próximas à árvore central. Ao identificar que a primeira árvore participa da amostra, é encontrado um ângulo, que forma a primeira área de amostragem e com isso se faz a primeira estimativa de área basal. Prosseguindo, o segundo ângulo é encontrado para a segunda árvore e se forma a segunda área de amostragem e a partir desta é feita a segunda estimativa de área basal. Assim, repete-se o processo até que todas as árvores competidoras são incluídas na parcela. A estimativa final da área basal é a média

das estimativas individuais. Para o autor, este método é naturalmente mais preciso que qualquer outro de estimativa da área basal pontual.

Para a determinação da densidade pontual, foram coletadas informações de 16 árvores pontuais, em cada uma das três posições sociológicas, totalizando 48 árvores pontuais e 153 árvores vizinhas.

4.5 Construção das curvas índices de sítio

As árvores abatidas para as análises de tronco, objetivando a construção das curvas índice de sítio, pertencem ao estrado das dominantes da população, segundo definição de Assmann, sendo indivíduos que possuem o equivalente à altura média aritmética das 100 árvores mais grossas por hectare.

Nos Sítios I-A e I-B, selecionou-se entre as árvores centrais das parcelas de Spurr, da posição sociológica dominante, equivalentes as seguintes classes de altura:

Sítio I-A: coleta de 3 árvores na classe de altura de 20 a 22 m e 3 na classe de 22 a 24 m;

Sítio I-B: coleta de 3 árvores na classe de altura de 16 a 18 m e 3 na classe de 18 a 20 m.

Nos demais sítios, como todos os indivíduos têm características de árvores livres de concorrência, portanto dominantes, coletou-se árvores nas seguintes classes de altura:

Sítio II: coleta de 3 árvores na classe de altura de 10 a 12 m;

Sítio III: coleta de 3 árvores na classe de altura de 8 a 10 m.

Para a construção das curvas índice de sítio abateram-se as árvores e retiraram-se fatias, com aproximadamente 5 cm de espessura, nas seguintes alturas: 0,2 m; 0,7 m; 1,3 m e, a partir deste ponto, de 2 em 2 metros até atingir a altura total da árvore. Quando determinado ponto de coleta coincidissem com inserção de galhos, o mesmo era deslocado para posição dos entre-nós. Na sequência, as fatias foram deixadas ao ar livre, para perder o excesso de umidade, e após secas em estufa e lixadas. Em seguida, foram demarcados os raios e anéis para a medição no aparelho LINTAB™ (2000), conectado a um computador com software Time Series

Analysys Program (TSAP™, 2000), do Laboratório de Manejo Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria.

A medição dos anéis nas fatias foi realizada sob 4 raios, com a definição destes seguindo a metodologia descrita por Selle et al. (2008). O primeiro raio foi definido com desvio de 45°, em relação ao maior raio da secção, no sentido horário. O prolongamento deste em direção oposta, a partir da medula até a casca, define o terceiro raio. O segundo e o quarto raios ficam definidos com uma reta que passa pela medula da árvore com ângulo de 90° em relação aos raios um e três.

Para a obtenção do valor do crescimento do anel (que corresponde a um ano de crescimento da árvore), calcula-se a média aritmética dos quatro valores medidos do respectivo anel de crescimento.

Após a leitura dos anéis e raios, os dados são gravados em um arquivo de dados e, posteriormente processados, obtendo-se a idade das árvores relacionadas à altura e ao diâmetro.

A seleção do modelo para elaboração das curvas índice de sítio será entre a função de Backman (1943), equação 1, e Richard's (1959) com três coeficientes (equação 2), ajustado para cada árvore.

$$\ln(h_{100}) = b_0 + b_1 \ln(t) + b_2 \ln^2(t) \quad (1)$$

Sendo h_{100} a altura das árvores dominantes, \ln correspondente ao logaritmo natural, “ t ” a idade e b_0 , b_1 e b_2 os coeficientes do modelo.

$$h_{100} = A(1 - e^{-kt})^R \quad (2)$$

Sendo h_{100} a altura das árvores dominantes, “ e ” correspondente a esponencial, “ t ” a idade A , K e R os coeficientes do modelo.

Sobre as estatísticas oriundas das regressões será feito um ranqueamento para definir qual dos modelos se ajusta melhor aos dados. Para isso serão atribuídos valores ponderados para os modelos, em cada estatística, onde o valor unitário é dado para a melhor estatística e dois para a pior. A soma desses valores vai definir o valor ponderado que, quanto menor indica que o modelo é melhor.

Para comparar o desenvolvimento em altura das árvores, nas diferentes idades e locais estudados, os dados devem ser submetidos a uma análise de covariância, utilizando para isso o modelo de Backman. Assim serão definidos quantos conjuntos de curvas índices devem ser construídas.

4.6 Construção das guias de densidade

A construção das linhas de densidade de ocupação dos locais estudados será calculada pela relação do número de árvores, por unidade de área, em função do diâmetro de área basal média (d_g), utilizado o modelo de Reineke (1933), equações 3 e 4, que corresponde a uma relação linear entre o logaritmo do número de árvores e o logaritmo dos diâmetros (d_g).

$$\ln N = \alpha - \beta \ln d \quad (3)$$

Ou na sua forma não-linearizada:

$$N = \alpha d^\beta \quad (4)$$

Sendo que N é o número de árvores por hectare, " α " e " β " são parâmetros e " d " é o diâmetro.

4.6.1 Linha de densidade de fechamento do dossel

A maioria dos estudos delimita esta linha baseada na de autodesbaste (100% de ocupação do local), e fixam em um percentual aproximado de 20%.

No entanto, neste estudo a linha de densidade de fechamento do dossel será obtida pelo levantamento das copas de árvores livres de concorrência, usando a metodologia proposta por Krajiceck et al. (1961).

Das árvores livres mediram-se oito raios da copa, que pela média aritmética forneceu os diâmetros de copa e os diâmetros dos fustes na altura de 1,30 metros (dap). A partir dos diâmetros de copas pela equação 5, obteve-se a densidade de árvores necessário, com tal dimensão de copa, relacionado ao seu respectivo diâmetro do fuste, para preencher o espaço correspondente a uma unidade de área.

$$N/ha = \frac{10000 \times 4}{\pi dc^2} \quad (5)$$

Sendo que o dc corresponde ao diâmetro de copa em metros e π a constante cujo valor é 3,141593.

Com esses dados, ajusta-se o modelo $N = f(dap)$ que descreve a linha de fechamento do dossel ou linha "D".

4.6.2 Linha de ocupação do povoamento

Esta linha será utilizada como forma de verificação da competição em que se encontra o povoamento, em três estratos (dominante, intermediário e dominado) dos locais denominados de Sítio I-A e I-B.

Com a melhor relação entre o diâmetro de copa e o diâmetro do fuste, por meio de correlações, se compara, por análise de covariância, os estratos e os sítios, verificando as tendências e os níveis entre essas possíveis fontes de variação. Conforme a existência ou não de diferenças entre as fontes de variações testadas, são definidos grupos de dados semelhantes e, por meio da projeção da ocupação do local, pelo diâmetro das copas relacionado com o respectivo diâmetro do fuste, é constatada a densidade de árvores necessárias para preencher o espaço correspondente a uma unidade de área (equação 5). Para cada grupo de dados

semelhantes é ajustado um modelo de Reineke (equação 4) que definirá a linha de densidade de ocupação do respectivo estrato ou grupo.

4.6.3 Linha de máxima densidade de ocupação

Inicialmente, calcula-se a área basal da população (equação 6), não incluindo a árvore central da parcela, pois, segundo Prodan et al. (1997), ocorre uma melhor relação com o crescimento da árvore central quando a função não a inclui.

$$G = \sum^n \frac{d_i^2}{L_i^2} \left(i - \frac{1}{2} \right) \quad (6)$$

Sendo que o d corresponde ao diâmetro medido a 1,30 m do solo (dap), i é a árvore vizinha em questão, n é o número recebido no ranqueamento e L é a distância entre a árvore central e a vizinha i .

O número de árvores por unidade de área passa a ser calculado pela equação 7, descrita a seguir:

$$N/ha = \sum_{i+1}^n \frac{1}{G_i} \times FAB \quad (7)$$

Sendo G_i a área basal por hectare da unidade “ i ”, e FAB é o fator de área basal (2,3), proposto por Daniels et al. (1986) para identificar árvores competidoras.

A linha de máxima densidade de ocupação, ou linha “A”, corresponde a uma relação teórica que descreve a trajetória seguida pelo número de árvores que se encontra em densidade máxima de ocupação, frequentemente utilizada como indicador do limite superior da capacidade máxima que o local suporta.

Para projetar a linha de máxima densidade de ocupação do local, ajusta-se o modelo de Reineke (equação 4), a partir do número de árvores por hectare em função da área basal (equação 6). Os valores ocupantes do limite superior dessa relação correspondem à linha de densidade que representa a máxima ocupação

para o local, visto que, no povoamento avaliado, nos espaçamentos menores já ocorrem mortes provocadas pela competição excessiva.

Na prática a linha de autodesbaste ou “A”, é uma projeção da linha descrita pelo modelo de Reineke que descreve a média dos pontos. Isso é realizado incrementando-se o valor do intercepto “ α ”, do modelo ajustado de Reineke (equação 4), elevando a linha para o limite superior, até que não ocorra mais dados acima, num diâmetro padrão de 25 cm.

4.6.4 Diagramas de densidade e faixa de manejo

Os Diagramas de Máxima Densidade – DMD são construídos conforme metodologia proposta por Ginrich (1967), definindo-se uma faixa recomendada de manejo para o povoamento e espécie abordada.

Dependendo dos objetivos de produção é possível se obter o máximo de produtividade adensando mais ou menos a população até um limite considerado ótimo. O ideal é não trabalhar com densidade muito baixa e nem máxima, pois nestes casos estaremos perdendo área ou fazendo com que ocorram indivíduos suprimidos. Com isso é proposta uma faixa de manejo que se situa entre as linhas de máxima densidade e da densidade de fechamento das copas, fazendo com que as intervenções culturais efetuadas sobre o povoamento (desbastes) mantenham uma área basal e o número de indivíduos, por unidade de área, adequados de forma a ocupar o espaço eficientemente.

Seguindo o recomendado pela literatura, a delimitação da faixa de manejo será baseada na máxima densidade (linha de autodesbaste ou A), que corresponde a 100% de ocupação do local. Com isso, a linha superior da faixa de manejo (início da mortalidade), também conhecida como linha B, será fixada em 57,5% e, a linha inferior da faixa, chamada de linha C (máxima produção), será traçada num percentual de 42,5%. Assim a zona recomendada para o manejo da espécie estudada abrangerá uma faixa de 15%.

4.7 Processamentos dos dados

Para ajustar as regressões lineares, serão utilizados os procedimentos PROC STEPWISE, PROC CORR, PROC GLM e PROC REG. Para os modelos não-lineares, o procedimento empregado será o PROC NLIN no método MARQUARDT.

Todos os procedimentos utilizados nos cálculos fazem parte do pacote Statistical Analysis System (SAS, 1999). Nos demais cálculos será feito uso da planilha eletrônica Excel (Microsoft® Office, 2003).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Índices de sítios para *Hovenia dulcis*

5.1.1 Definição do modelo matemático

Inicialmente plotou-se os dados observados de altura em função da idade, das 18 árvores amostradas, provenientes das análises de tronco realizadas nos povoamentos existentes nos Sítios I-A, I-B, II e III, conforme demonstrados na Figura 8 a seguir.

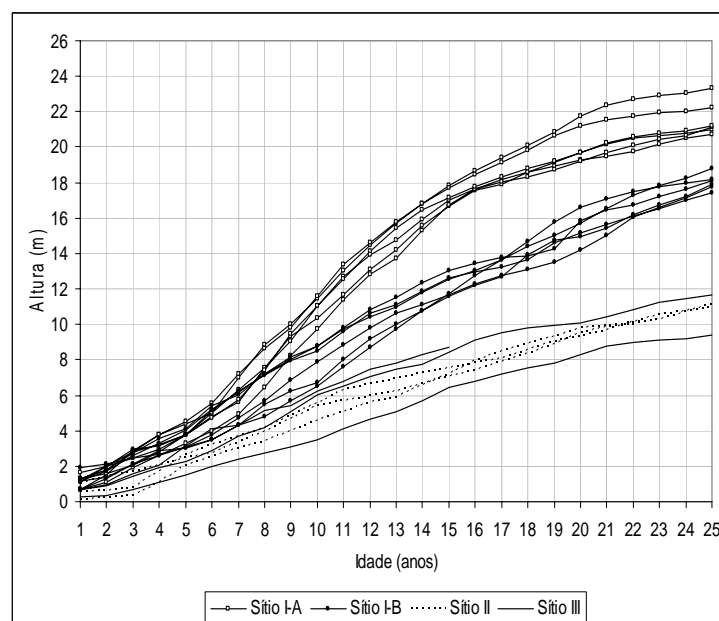


Figura 8 – Árvores dominantes de *Hovenia dulcis* amostradas por análise de tronco.

Observa-se na Figura 8 que, nos três primeiros anos de crescimento das árvores, ocorre uma instabilidade nas curvas, com as árvores do Sítio I-B tendo desenvolvimento superior ao do Sítio I-A, porém, teoricamente este último seria superior ao primeiro. Isso, provavelmente, ocorre porque nesse período de desenvolvimento as árvores do Sítio I-B, acentadas sobre um local onde o lençol freático encontra-se mais superficial, e as plantas necessitando de umidade, tiveram desenvolvimento superior. Porém, quando as raízes dessas árvores atingiram o lençol freático, com a intolerância da espécie pelo excesso de umidade, ocorreu uma desaceleração no crescimento, com o Sítio I-A, a partir daí, por estar localizado onde o lençol é mais profundo, teve um maior desenvolvimento. Uma constatação feita é que na década de 80, segundo Berlato et al. (2007), houve uma grande concentração de eventos do El Niño, podendo ter contribuído com excesso de precipitação e a consequente suba do lençol freático vindo a concretizar-se o anteriormente citado. Devido a isso todos os cálculos foram feitos a partir da idade de 5 anos

Para proceder à seleção entre os modelos de Backman (1943) e Richard's (1959) com três coeficientes, ajustaram-se ambos para cada árvore, gerando 36 regressões, conforme demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados estatísticos obtidos no ajuste dos modelos de Backman e Richard's de três coeficientes para cada árvore.

Sítio	Árvore	Backman				Richard's com 3 coeficientes			
		$R^2_{Ajust.}$	Syx%	CV%	F	$R^2_{Ajust.}$	Syx%	CV%	F
I-A	1	0,99	0,04	1,27	1636,21	0,99	0,31	2,13	17889,50
I-A	2	0,99	0,05	2,19	1087,83	0,99	0,34	2,36	14995,00
I-A	3	0,99	0,05	1,92	945,03	0,99	0,36	2,43	13766,90
I-A	4	0,99	0,04	1,73	1369,00	0,99	0,29	1,93	21214,40
I-A	5	0,99	0,02	0,67	8705,99	0,99	0,19	1,18	58885,40
I-A	6	0,99	0,03	1,10	2672,09	0,99	0,26	1,63	29552,00
I-B	1	0,99	0,03	1,45	2278,26	0,99	0,39	3,52	6425,03
I-B	2	0,99	0,02	0,94	3503,06	0,99	0,22	1,87	21749,00
I-B	3	0,99	0,02	0,97	3294,56	0,99	0,33	2,72	10691,90
I-B	4	0,99	0,03	1,46	2802,45	0,99	0,19	1,67	30296,90
I-B	5	0,99	0,05	2,15	1288,94	0,99	0,28	2,57	12959,20
I-B	6	0,99	0,02	0,98	3289,41	0,99	0,32	2,61	11784,40
II	1	0,99	0,04	2,46	1680,56	0,99	0,21	3,39	7353,79
II	2	0,99	0,02	1,54	1959,94	0,99	0,21	2,86	9747,65
II	3	0,99	0,03	1,80	2420,66	0,99	0,21	3,01	9201,41
III	1	0,99	0,04	2,56	1741,41	0,99	0,18	3,04	8353,70
III	2	0,99	0,03	1,82	515,31	0,99	0,15	2,45	6533,56
III	3	0,99	0,02	1,21	3965,79	0,99	0,17	2,16	16576,60

Sendo: CV% = coeficiente de variação em percentagem; $R^2_{Ajust.}$ = coeficiente de determinação ajustado; Syx% = erro padrão da estimativa em percentagem; F = valor de F da análise de variância.

Sobre as estatísticas da Tabela 3 fez-se um ranqueamento para definir qual dos modelos se ajusta melhor aos dados. Para isso atribuíram-se valores ponderados para cada um, em cada estatística, onde o valor unitário é dado para a melhor estatística e dois para a pior. A soma desses valores define um valor ponderado que, quanto menor sinaliza que o modelo é melhor, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabeça 4 – Valores ponderados das estatísticas obtidos no ajuste dos modelos de Backman e Richard's, de três coeficientes, para cada sítio.

Sítio	Árvore	Backman					Richard's com 3 coeficientes				
		$R^2_{Ajust.}$	Syx	CV%	F	VP	$R^2_{Ajust.}$	Syx	CV%	F	VP
I-A	1	1	1	1	2	5	1	2	2	1	6
I-A	2	1	1	1	2	5	1	2	2	1	6
I-A	3	1	1	1	2	5	1	2	2	1	6
I-A	4	1	1	1	2	5	1	2	2	1	6
I-A	5	1	1	1	2	5	1	2	2	1	6
I-A	6	1	1	1	2	5	1	2	2	1	6
I-B	1	1	1	1	2	5	1	2	2	1	6
I-B	2	1	1	1	2	5	1	2	2	1	6
I-B	3	1	1	1	2	5	1	2	2	1	6
I-B	4	1	1	1	2	5	1	2	2	1	6
I-B	5	1	1	1	2	5	1	2	2	1	6
I-B	6	1	1	1	2	5	1	2	2	1	6
II	1	1	1	1	2	5	1	2	2	1	6
II	2	1	1	1	2	5	1	2	2	1	6
II	3	1	1	1	2	5	1	2	2	1	6
III	1	1	1	1	2	5	1	2	2	1	6
III	2	1	1	1	2	5	1	2	2	1	6
III	3	1	1	1	2	5	1	2	2	1	6

Sendo: CV% = coeficiente de variação em percentagem; $R^2_{Ajust.}$ = coeficiente de determinação ajustado; Syx% = erro padrão da estimativa em percentagem; F = valor de F da análise de variância; VP = valor ponderado.

Analisando a Tabela 4 constata-se que o modelo de Backman apresenta os menores valores ponderados e, conseqüentemente vem a ser o modelo mais preciso, sendo o selecionado para expressar os crescimentos nos diferentes locais.

5.1.2 Comparação do crescimento em altura entre os sítios

Para comparar o desenvolvimento em altura das árvores, nas diferentes idades e locais estudados, os dados foram submetidos a uma análise de covariância, utilizando para isso o modelo de Backman.

Inicialmente realizou-se a verificação do comportamento para a tendência ou inclinação (Tabela 5).

Tabela 5 – Análise de covariância com o modelo de Backman, para teste de tendência, entre os sítios de *Hovenia dulcis*.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	11	125,53	11,41	879,11	<0,0001
$Ln(t)$	1	3,49	3,49	268,58	<0,0001
$Ln^2(t)$	1	1,22	1,22	94,31	<0,0001
Sítio	3	0,27	0,09	6,62	0,0002
$Ln(t) \times$ Sítio	3	0,41	0,14	10,60	<0,0001
$Ln^2(t) \times$ Sítio	3	0,39	0,13	10,01	<0,0001
Resíduo	356	4,62	0,01		
Total	367	130,15			

Parâmetro	Estimativa	Erro	Vt	Pr > t
$Ln(t)*Sítio\ I-A \times Ln(t)*Sítio\ I-B$	1,682397628	0,34372424	4,89	<0,0001
$Ln(t)*Sítio\ I-A \times Ln(t)*Sítio\ II$	1,871501327	0,42097450	4,45	<0,0001
$Ln(t)*Sítio\ I-A \times Ln(t)*Sítio\ III$	1,366866969	0,43605686	3,13	0,0019
$Ln(t)*Sítio\ I-B \times Ln(t)*Sítio\ II$	-0,189103699	0,42097450	-0,45	0,6536
$Ln(t)*Sítio\ I-B \times Ln(t)*Sítio\ III$	-0,315530659	0,43605686	-0,72	0,4698
$Ln(t)*Sítio\ II \times Ln(t)*Sítio\ III$	-0,504634358	0,49921815	-1,01	0,3128

Sendo: Ln = logaritmo natural; t = idade (anos); FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; Vt = valor da estatística t ; F = valor de F calculado para a variável dependente; Prob. >F = nível de probabilidade de erro.

Na análise de covariância (Tabela 5), ao considerar um nível de significância de 5% do erro, é demonstrado que o Sítio I-A é diferente dos demais. Assim, a hipótese de igualdade de inclinação entre todas as curvas de crescimento é rejeitada, ocorrendo somente à mesma inclinação entre os Sítios I-B, II e III, existindo paralelismo entre elas, fazendo-se necessário uma nova análise de covariância entre esses locais, para teste de nível (Tabela 6).

Já para o Sítio I-A ficou definido a necessidade da confecção de um conjunto específico de curvas.

Tabela 6 – Análise de covariância com o modelo de Backman, para teste de nível, entre os Sítios I-B, II e III de *Hovenia dulcis*.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	4	70,71	17,68	1036,28	<0,0001
$Ln(t)$	1	1,81	1,81	103,97	<0,0001
$Ln^2(t)$	1	0,48	0,48	27,48	<0,0001
Sítio	2	15,41	15,41	886,06	<0,0001
Resíduo	237	4,04	0,02		
Total	241	74,76			

Parâmetro	Estimativa	Erro	Vt	Pr > t
Sítio I-B x Sítio II	0,474102341	0,02143513	22,12	<0,0001
Sítio I-B x Sítio III	0,531666860	0,02015392	26,38	<0,0001
Sítio II x Sítio III	-0,057564519	0,02438972	-2,36	0,0191

Sendo: Ln = logaritmo natural; t = idade (anos); FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; Vt = valor da estatística t ; F = valor de F calculado para a variável dependente; Prob. >F = nível de probabilidade de erro.

Com o teste de covariância apresentada na Tabela 6, com objetivo de verificação dos níveis entre os Sítios I-B, II e III, para uma probabilidade de erro de 5%, constatou-se não haver diferença significativa entre eles. Assim será necessário apenas um conjunto de curvas índice de sítio para representá-las.

Desta forma, as análises de covariância comprovaram a necessidade de ajustar duas equações específicas para a confecção das curvas índice de sítio para *Hovênia dulcis*, dos locais estudados, uma para o Sítio I-A e outra para a união dos Sítios I-B+II+III.

O mesmo não ocorreu no estudo realizado por Selle (1993), ao definir índices de sítios para *Pinus taeda*, oriundos de três locais distintos da região de Cambará do Sul, RS. No trabalho foi necessário construir somente um conjunto de curvas índice, o que não ocorreu com o estudo de Tonini (2000). Para classificar sítios com *Pinus elliottii*, de três locais do Rio Grande do Sul, Tonini (2000), constatou que a hipótese de paralelismo entre as curvas de crescimento deveria ser rejeitada, necessitando elaborar um conjunto de curvas índice para cada local estudado.

Já para Drescher (2004), foi necessário apenas um conjunto de curvas índice sítio ao trabalhar com *Tectona grandis*, oriundas de dois locais no estado do Mato Grosso.

Os ajustes das equações que representam os crescimentos nos dois conjuntos de dados, definidos estatisticamente como semelhantes (Sítios I-A e I-B+II+III), são apresentadas na Tabela 7, a seguir.

Tabela 7 – Estatística dos ajustes da equação de Backman para os dois locais semelhantes de *Hovenia dulcis*.

Sítio	Equação	Estatística				
		R ²	Syx%	CV%	F	Pr > F
I-A	$\ln(h_{100}) = -3,32121 + 3,71347\ln(t) - 0,53500\ln^2(t)$	0,98	0,07	2,75	3142,51	<0,0001
I-B+II+III	$\ln(h_{100}) = -1,69260 + 1,97756\ln(t) - 0,19360\ln^2(t)$	0,74	0,28	13,66	337,59	<0,0001

Sendo: h_{100} = altura dominante (m); \ln = logaritmo natural; t = idade (anos); R² = coeficiente de determinação; Syx% = erro padrão da estimativa em percentagem; CV% = coeficiente de variação em percentagem; F = valor de F da análise de variância.

Observa-se, na Tabela 7, que o modelo se ajusta melhor ao conjunto de dados representativos do Sítio I-A, apresentando todas as estatísticas superiores ao outro grupo. O fator determinante para que o ajuste tenha não apresente alta precisão no agrupamento dos Sítios I-B, II e III estão relacionados com a amplitude das alturas, porém, mesmo assim o ajuste pode ser considerado bom.

Tanto Selle (1993) quanto Tonini (2000) utilizaram o modelo de Richard's, com três parâmetros, na construção de índices de sítio, obtendo ajustes muito parecidos, com valores para os coeficientes de determinação superiores a 99%. Já Drescher (2004), em seu estudo empregou o modelo de Richard's, porém com dois coeficientes, com o ajuste de 70%.

Outro modelo bastante empregado, para estimar crescimentos, vem sendo o de Backman. Exemplos desse uso são os estudos de Schneider et al. (2000) e Scheren et al. (2003), em trabalhos de tendências de crescimento em diâmetro, volume comercial, incremento corrente anual do volume comercial e fator de forma comercial, para *Tabebuia impetiginosa* e *Ocotea pulchella*, na região central do Rio Grande do Sul, com os ajustes sendo excelentes.

A função de Backman também foi utilizada por Floriano et al. (2006), para descrever o crescimento em altura de *Pinus elliottii*, com 18 anos, oriundos do município de Piratini, no Rio Grande do Sul, perfazendo uma precisão de 83% para o coeficiente de determinação. Outro trabalho, a utilizar o modelo de Backman, foi o de Hess (2006), para descrever o crescimento em volume sem casca e a altura em função da idade de *Araucaria angustifolia*, em três regiões fitogeográficas do Rio Grande do Sul, onde constatou que o coeficiente de determinação tinha uma precisão superior a 92%.

5.1.3 Confeção das curvas índice de sítio

Para a elaboração dos dois conjuntos específicos de curvas índice de sítio, primeiramente definiu-se a idade índice, que, segundo a literatura, deve ser tomada próximo a de rotação da cultura. Neste estudo, a idade foi estabelecida como sendo a própria idade do povoamento, ou seja, 25 anos.

Em função da instabilidade constatada nos primeiros quatro anos, provocada pelos fatores anteriormente mencionados, e pela faixa etária do povoamento, definiu-se que as curvas índice de sítio devem ser traçadas entre as idades de 5 e 25 anos, obedecendo a um intervalo, entre as classes de sítio, de 2 metros.

Assim, de posse dos modelos que descrevem os dois locais e, variando a idade de 5 a 25 anos, se obteve as duas curvas guia ou mestra, para ambos os locais estudados (Figura 9).

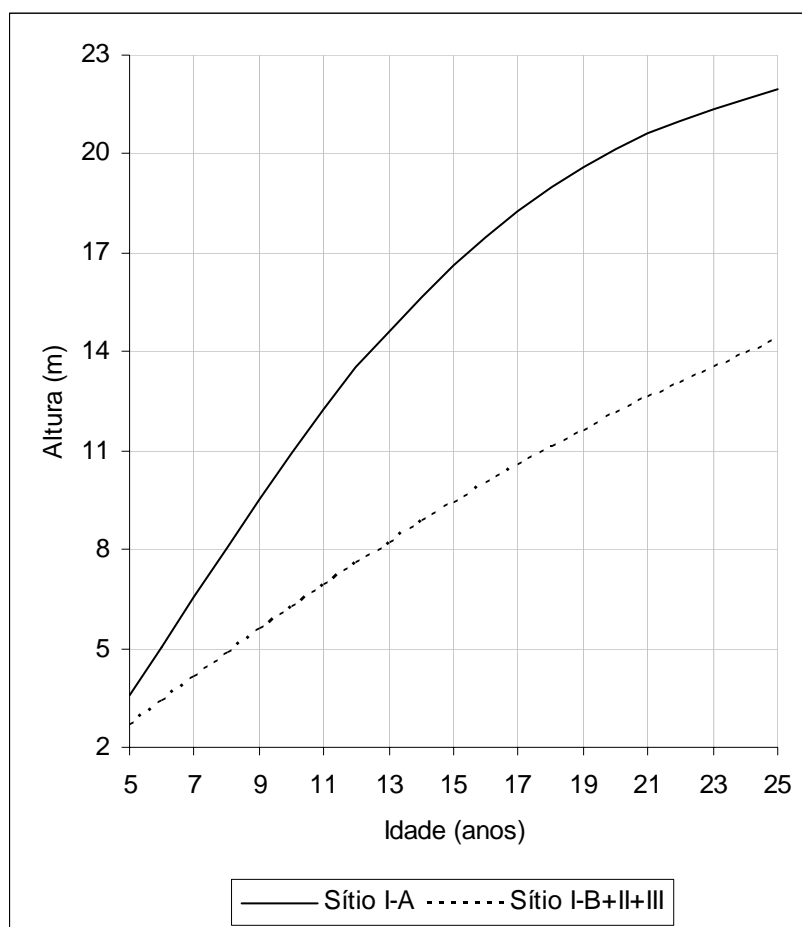


Figura 9 – Ajuste das curvas guia traçadas, com o modelo de Backman, para os sítios de *Hovenia dulcis* estudados.

Segundo a Figura 9, a curva guia ajustada para o Sítio I-A segue tendência parabolóide, com a concavidade voltada para baixo, enquanto que para o Sítio I-B+II+III a tendência seguida é próxima à linear. No primeiro caso, está indicando que o crescimento já está próximo da assíntota, ou seja, no limite do sítio. Já no segundo caso, este ponto ainda não foi atingido. Estes comportamentos podem ser observados nos dados originais, representados na Figura 8.

Após a construção das curvas guias, são elaboradas as demais curvas índice de sítio, por derivação dessas, pela metodologia descrita por Selle et al. (2008), com os resultados sendo apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores das curvas índice de sítio para *Hovenia dulcis*, de dois locais (Sítio I-A e Sítio I-B+II+III) localizados na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

Idade (anos)	Índice de sítio/local (m)								
	Sítio I-B+II+III						Sítio I-A		
	8	10	12	14	16	18	20	22	24
5	1,5	1,9	2,2	2,6	3,0	3,4	3,2	3,6	3,9
6	1,9	2,4	2,8	3,3	3,8	4,3	4,6	5,0	5,5
7	2,3	2,9	3,5	4,0	4,6	5,2	6,0	6,6	7,2
8	2,7	3,4	4,1	4,7	5,4	6,1	7,3	8,1	8,8
9	3,1	3,9	4,6	5,4	6,2	7,0	8,7	9,6	10,4
10	3,5	4,3	5,2	6,1	7,0	7,8	10,0	11,0	12,0
11	3,9	4,8	5,8	6,7	7,7	8,7	11,2	12,3	13,4
12	4,2	5,3	6,3	7,4	8,4	9,5	12,3	13,5	14,8
13	4,6	5,7	6,8	8,0	9,1	10,3	13,3	14,7	16,0
14	4,9	6,1	7,4	8,6	9,8	11,0	14,3	15,7	17,2
15	5,2	6,5	7,9	9,2	10,5	11,8	15,2	16,7	18,2
16	5,6	6,9	8,3	9,7	11,1	12,5	15,9	17,5	19,1
17	5,9	7,3	8,8	10,3	11,7	13,2	16,6	18,3	20,0
18	6,2	7,7	9,2	10,8	12,3	13,9	17,3	19,0	20,7
19	6,4	8,1	9,7	11,3	12,9	14,5	17,8	19,6	21,4
20	6,7	8,4	10,1	11,8	13,5	15,1	18,3	20,2	22,0
21	7,0	8,7	10,5	12,2	14,0	15,7	18,8	20,7	22,5
22	7,3	9,1	10,9	12,7	14,5	16,3	19,2	21,1	23,0
23	7,5	9,4	11,3	13,2	15,0	16,9	19,5	21,4	23,4
24	7,8	9,7	11,6	13,6	15,5	17,5	19,8	21,7	23,7
25	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	22,0	24,0

Para a definição do número de curvas índice de sítio, necessário para cobrir toda a amplitude de alturas, nos dois locais, foi plotado dados levantados nas

populações sobre as curvas índice elaboradas. A delimitação é feita de forma que todos os dados plotados sejam cobertos por curvas índices, conforme mostra a Figura 10 a seguir.

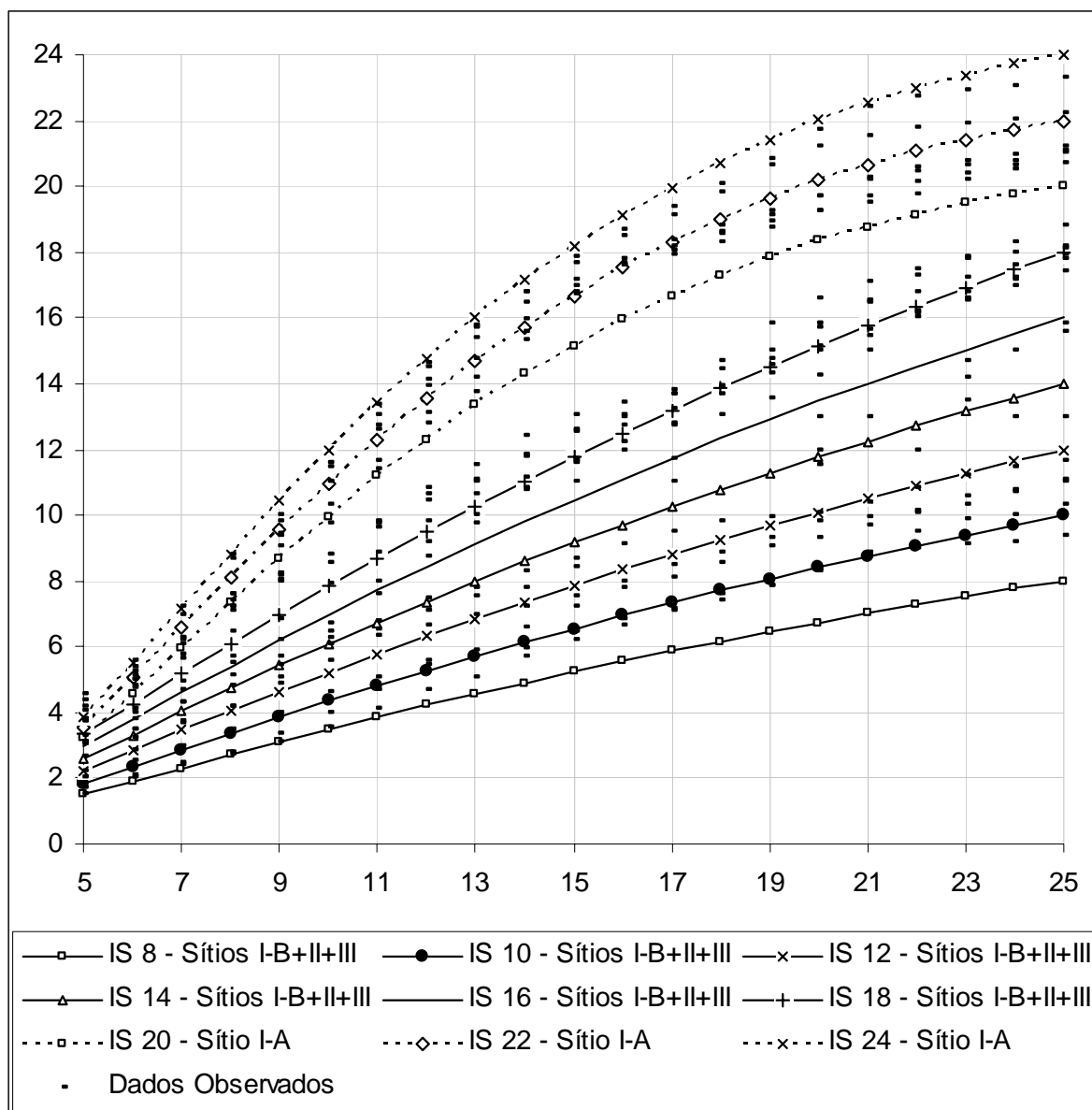


Figura 10 – Delimitação do número de curvas índice de sítio, para *Hovenia dulcis* dos Sítios I-A e I-B+II+III, localizados na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

A representação gráfica das curvas índices da Tabela 8 está nas Figuras 11 e 12 na sequência.

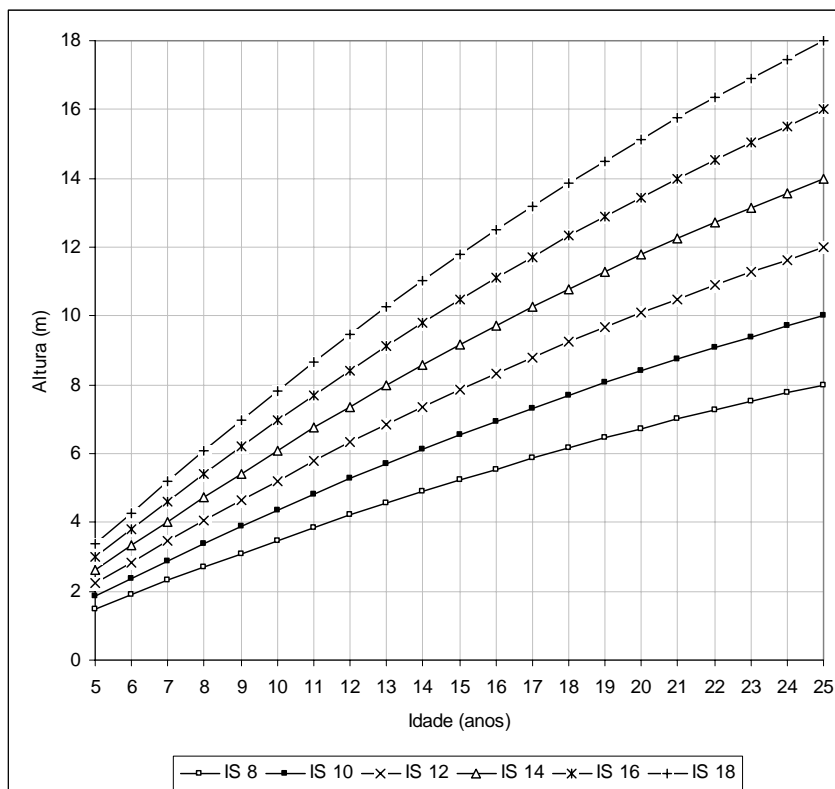


Figura 11 – Curvas índice de sítio, para *Hovenia dulcis* do Sítio I-B+II+III, localizado na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

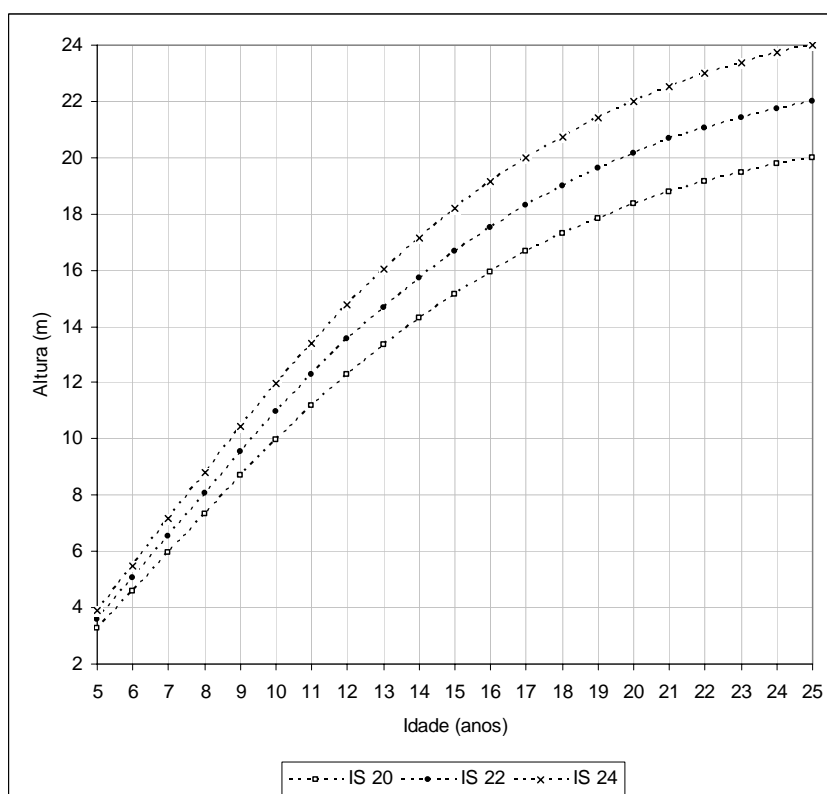


Figura 12 – Curvas índice de sítio, para *Hovenia dulcis* do Sítio I-A, localizado na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

Assim, conforme ficou demonstrado na Tabela 8 e Figura 11, estabeleceu-se que, para os Sítios I-B+II+III, são necessárias 6 curvas índice de sítio (de 8 a 18 m), na idade índice de 25 anos. Já, de acordo com o apresentado na Tabela 8 e Figura 12, para o Sítio I-A, o número de curvas necessárias é a metade, iniciando na de 20 m e finalizando com a de 24 m.

5.1.4 Confiabilidade e estabilidade das curvas de índice de sítio

Os testes de confiabilidade e estabilidade são feitos plotando-se dados de crescimento observados sobre as curvas índices de sítio elaboradas para cada local, permitindo avaliar de forma gráfica o comportamento das árvores sobre uma possível mudança de índice ao longo do tempo, assim como avaliar a estabilidade ao se classificar sítios em idades jovens. Os resultados dos testes gráficos estão representados nas Figuras 13 e 14.

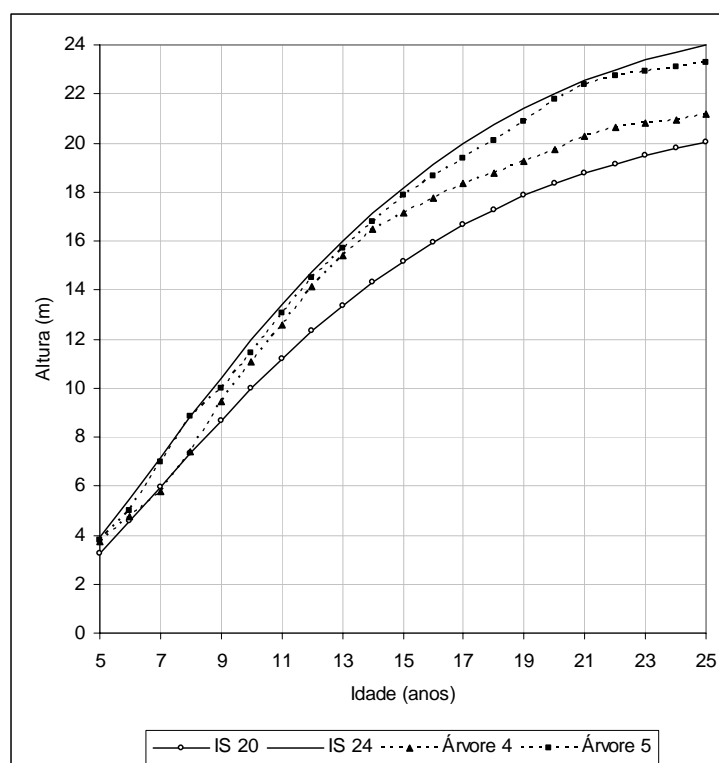


Figura 13 – Confiabilidade e estabilidade das curvas índice, para o Sítio I-A, de *Hovenia dulcis*.

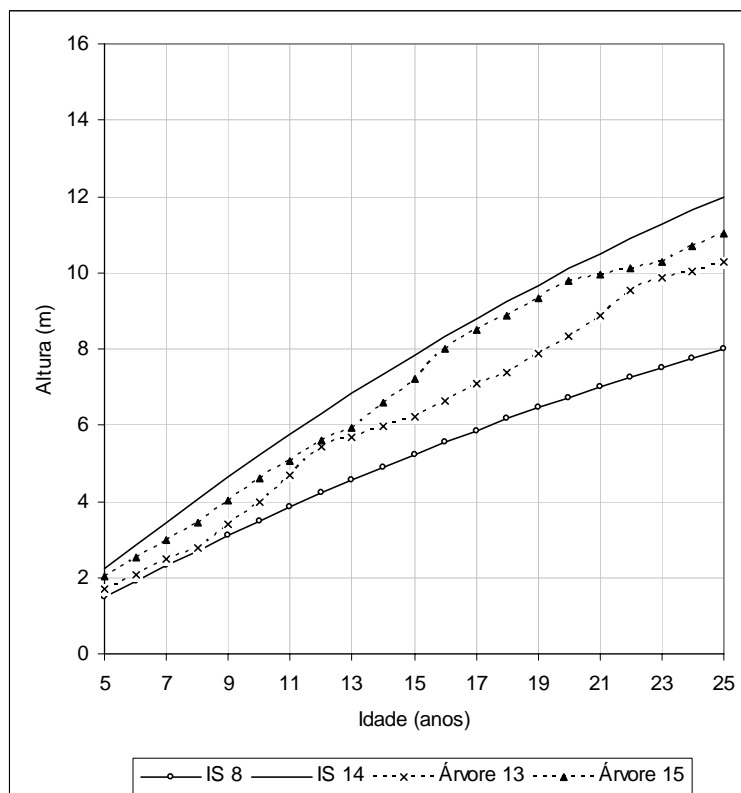


Figura 14 – Confiabilidade e estabilidade das curvas índice, para o Sítio I-B+II+III, de *Hovenia dulcis*.

De acordo com as Figuras 13 e 14, as classificações elaboradas, para ambos locais, apresentam os crescimentos das árvores seguindo tendências muito semelhantes as das curvas índice de sítio construídas, ao longo de todas as idades, o que demonstra que a classificação feita é confiável e estável.

5.2 Guias de densidade com base na classe de copa

5.2.1 Árvores livres de concorrência

5.2.1.1 Linha D ou de densidade de fechamento do dossel

Também conhecida como linha de fechamento das copas, relaciona o diâmetro do fuste (dap) e o número de árvores por hectare, determinado pelo diâmetro da copa, utilizando a equação 5. Sobre a projeção desses dados ajustou-se o modelo de Reineke (equação 4), obtendo-se a linha de densidade de fechamento do dossel ou linha “D”, cujo coeficiente angular é de aproximadamente -1,5 com a demonstração gráfica, em escala logarítmica, na Figura 15 a seguir.

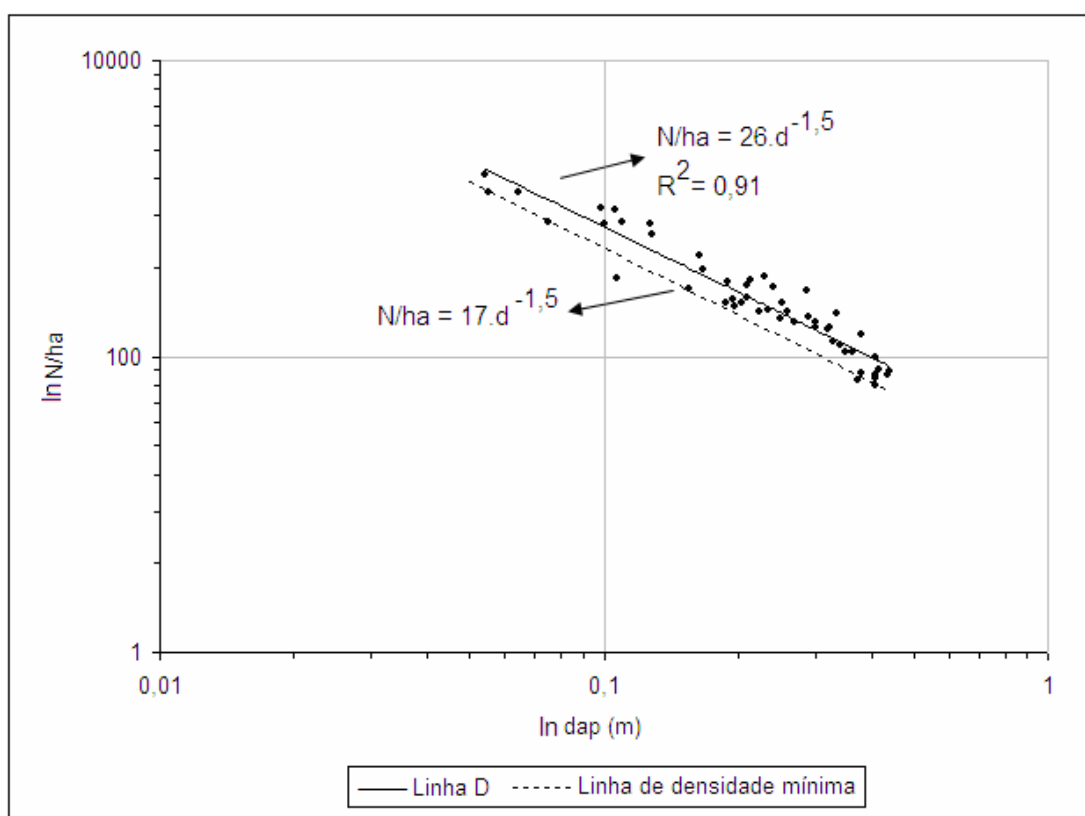


Figura 15 – Linha de fechamento do dossel, elaboradas com árvores livres de concorrência de *Hovenia dulcis*, em escala logarítmica.

Árvores livres de concorrência descrevem um grau de densidade a partir do qual se dá início o desenvolvimento de uma formação de povoamento. Abaixo desse ponto, as árvores manifestam características especiais, ou seja, em certas espécies, uma grande percentagem da altura da árvore possui galhos vivos e, conseqüentemente, um baixo grau de autopoda, além de apresentar copas amplas, fustes com uma altura menor em relação à de outros indivíduos da mesma espécie e idade. Por essas razões, a densidade mínima de um povoamento comercial tende a ser superior ao limitado por essa linha, fazendo com que a concorrência entre os indivíduos possa eliminar estes efeitos indesejados.

Na Figura 15, a linha denominada de mínima densidade, corresponde a um limite onde, abaixo dessa, as árvores possuem copas excessivamente grandes o que torna as árvores ineficientes devido ao grande espaço ocupado pela copa em relação ao fuste produzido.

Muito embora a linha de fechamento do dossel (linha D) tenha sido calculada neste trabalho, a bibliografia salienta que ela pode ser calculada algebricamente, sendo muito citados índices entre 15 e 25% da linha de máxima densidade (A). Por exemplo, Archibald; Bowling (1995) usaram o índice de 15%, já Gezan et al. (2007) optaram por utilizar uma taxa 5% maior e, Harrington (1997) por um valor ainda maior, 25% da linha de autodesbaste.

5.2.2 Árvores sob concorrência

5.2.2.1 Linha A, de máxima densidade ou de autodesbaste

Foi desenvolvida utilizando a metodologia da Densidade Pontual, proposta por Spurr (1962), que a partir das estimativas de área basal por hectare (G), com a equação 6, e número de árvores por hectare (N/ha), pela equação 7, determinando-se o diâmetro da árvore de área basal média (dg). Estas variáveis, para as 44 unidades amostrais, constam na Tabela 9 e foram utilizadas na modelagem.

Tabela 9 – Área basal e número de árvores por hectare, das unidades amostrais da população sob concorrência, de *Hovenia dulcis*.

Unidade amostral	dg (m)	G (m ² /ha)	N/ha	Unidade amostral	dg (m)	G (m ² /ha)	N/ha
1	0,162	17,65	855	23	0,167	23,45	1066
2	0,142	9,30	586	24	0,107	16,39	1827
3	0,227	25,35	625	25	0,164	16,83	798
4	0,241	32,44	712	26	0,173	13,94	594
5	0,164	8,06	382	27	0,119	13,65	1231
6	0,144	17,28	1063	28	0,129	11,03	847
7	0,100	9,58	1221	29	0,160	14,98	745
8	0,246	35,81	754	30	0,202	17,87	557
9	0,245	34,36	730	31	0,175	20,86	872
10	0,182	8,97	344	32	0,182	16,85	649
11	0,112	9,40	948	33	0,193	20,55	702
12	0,186	8,56	314	34	0,198	19,38	628
13	0,180	14,17	559	35	0,184	22,56	846
14	0,263	32,18	593	36	0,178	15,81	632
15	0,187	17,33	629	37	0,167	17,59	799
16	0,141	15,58	1002	38	0,137	10,74	732
17	0,227	38,90	962	49	0,240	29,93	662
18	0,179	32,62	1297	40	0,204	25,19	768
19	0,162	20,00	967	41	0,203	21,27	657
20	0,150	15,18	860	42	0,161	11,89	582
21	0,132	19,79	1437	43	0,144	7,28	448
22	0,101	9,19	1155	44	0,154	18,09	972

Sendo: dg = diâmetro de área basal média; G = área basal por hectare; N/ha = número de árvores por hectare.

A linha de autodesbaste é a única que não pode ser obtida algebricamente e corresponde a uma relação prática que descreve a trajetória seguida pelo número de árvores de um povoamento que estejam com a máxima ocupação para o local. Neste estágio o povoamento está em plena competição na parte aérea, por luz, e na parte subterrânea, por água e nutrientes, fazendo com que a densidade seja dependente da mortalidade.

Sobre o número de árvores por hectare, em função do diâmetro de área basal média, de cada unidade amostral (Tabela 9), é ajustado o modelo de Reineke (equação 4) que descreve uma linha passando pela média dos dados. Por fim, a linha que define a máxima densidade corresponde ao limite superior desses dados, que para melhor visualização é apresentada em escala logarítmica.

Como aferição da idoneidade da equação ajustada para os pontos médios, comparou-se os dados gerados pela esta com os observados. Assim ficou constatado que a função ajustada gera dados muito próximos aos observados onde, para um diâmetro de 5 cm, a função estima uma densidade de 8.676 árvores por

hectares, com área basal de 17 m²/ha e, para um diâmetro de 31 cm a densidade é de 562 árvores por hectare e área basal de pouco mais de 42 m²/ha.

Na prática a Linha A é definida com o incremento do valor do intercepto (α) do modelo médio ajustado, elevando a linha para o limite superior, num diâmetro padrão considerado de 25 cm, cuja linha corresponde ao estágio de autodesbaste.

O modelo médio ajustado corresponde tão somente aos dados amostrados, podendo divergir se a amostra, do mesmo povoamento, for outra. Desta forma, pouco muda se fixarmos o coeficiente angular em -1,5, proposto por Tang et al. (1984), e alterarmos o valor do intercepto até que a linha tangencie os valores extremos próximos a unidade de diâmetro de área basal média (dg) de 25 cm, conforme a representação gráfica demonstrada na Figura 16.

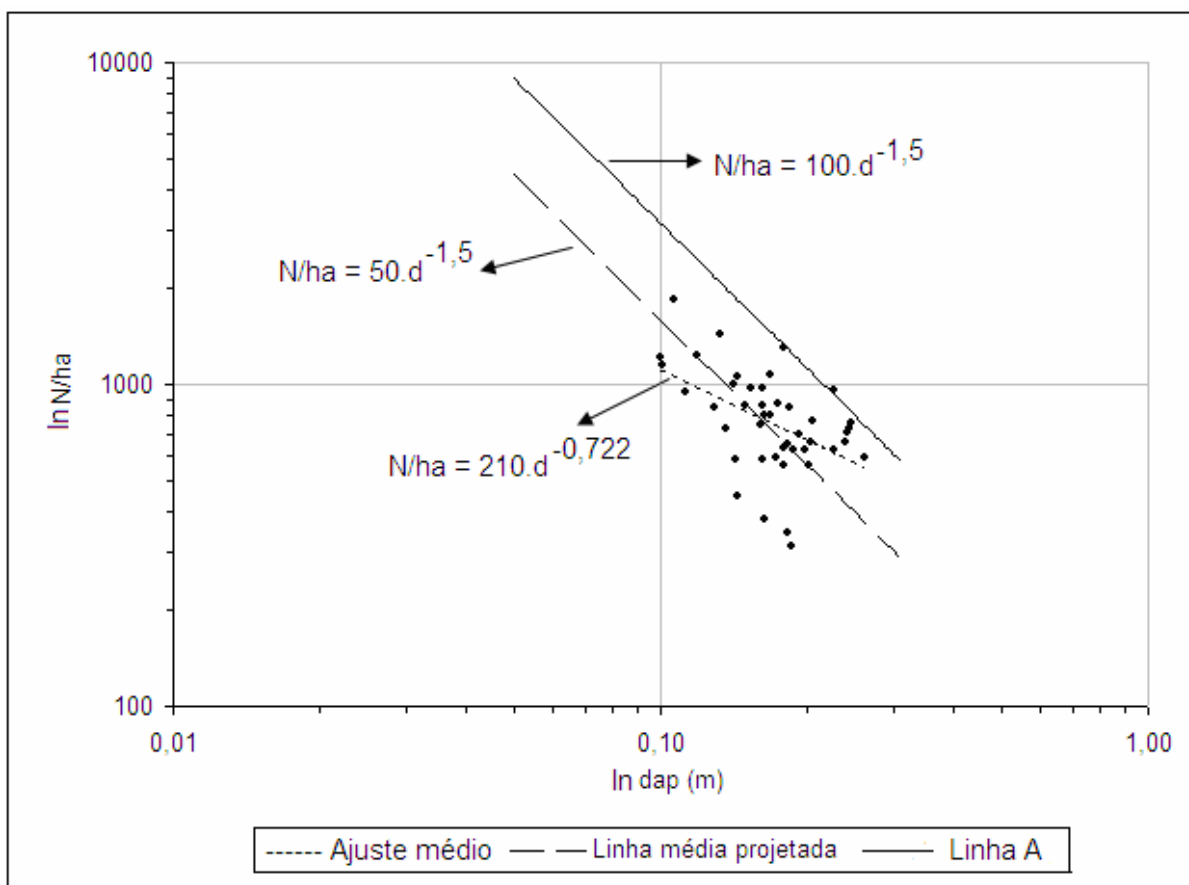


Figura 16 – Linha de autodesbaste, para *Hovenia dulcis*, em escala logarítmica.

Na literatura é encontrada uma ampla gama de valores para o coeficiente angular da linha de autodesbaste. Com a conífera *Picea glauca*, Saunders; Puettmann (2000), utilizando metodologia semelhante ao aplicado neste trabalho, encontraram valor igual a -0,473 para a linha de autodesbaste.

Em se tratando de 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 *Alnu rubra*.

Schneider (2008), utilizando o modelo de Tang et al. (1994) com coníferas, definiu que o autodesbaste ocorre quando acontece um declínio repentino da densidade de árvores por hectare em todos os espaçamentos por ele estudado. Portanto, o autodesbaste ocorreu numa dimensão de diâmetro médio diretamente proporcional à densidade de árvores de plantio, indicando que, quanto maior o espaçamento inicial, maior será o diâmetro médio e, com isso, mais tarde, ocorrerá o momento do início do autodesbaste na população.

Muito embora os valores dos coeficientes angulares encontrados nos estudos mencionados diferem do presente trabalho, este se aproxima mais com o proposto por Yoda et al. (1963) do que o postulado por Reineke (1933).

5.2.2.2 Linhas de ocupação da população

Objetivando analisar a real ocupação do local, por árvores ocupantes dos estratos dominante, intermediário e dominado, nos dois sítios estudados, primeiramente efetuou-se a escolha da melhor relação que possa estimar o diâmetro de copa (dc) em função do diâmetro do fuste (dap).

Para definir a melhor relação efetuou-se um teste de correlação de Pearson, buscando a variável independente que melhor explique o diâmetro de copa (Tabela 10).

Tabela 10 – Correlações de Pearson entre as variáveis diâmetro da copa (dc) e diâmetro do fuste (dap), de *Hovenia dulcis*, localizadas nos diferentes estratos (dominante, intermediário e dominado) e locais (Sítios I-A e I-B).

Variável independente	Variável dependente					
	dc	ln(dc)	1/dc	dc ²	\sqrt{dc}	dc ³
dap	0,81510	0,81676	0,79957	0,78999	0,81926	0,74836
	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
1/dap	0,69874	0,73221	0,74201	0,64929	0,71797	0,59137
	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
1/dap ²	0,60069	0,79079	0,78220	0,54631	0,62426	0,48776
	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
ln(dap)	0,77212	0,79079	0,78220	0,73307	0,78447	0,68117
	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Sendo: dc = diâmetro de copa (m); dap = diâmetro do fuste medido a 1,30 m do solo (cm); ln = logaritmo neperiano.

Das correlações apresentadas na Tabela 10, as melhores relações são representadas por: $\sqrt{dc} = f(dap)$, $ln(dc) = f(dap)$ e $dc = f(dap)$, com precisões muito semelhantes e altamente significativas, sendo selecionada a relação mais simples, $dc = f(dap)$.

Com o modelo que representa a melhor relação diâmetro da copa em função do diâmetro do fuste, procedeu-se uma análise de covariância, para testar a existência, ou não, de diferença em inclinação (tendência), da variável diâmetro de copa, entre os Sítios I-A e I-B e os estratos, com os resultados sendo expressos na Tabela 11.

Tabela 11 – Análise de covariância, para teste de tendência, do diâmetro de copa, entre os sítios e estratos de *Hovenia dulcis*.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob. > F
Modelo	9	219,56	24,40	54,53	<0,0001
dap	1	41,95	41,98	93,85	<0,0001
S	1	2,38	2,38	5,33	0,0220
PS	2	7,63	3,82	8,53	0,0003
dap*S	1	0,37	0,37	0,84	0,3618
dap*S*PS	4	11,60	2,90	6,48	<0,0001
Resíduo	193	86,34	0,47		
Total	202	305,91			
Parâmetro		Estimativa	Erro	Vt	PR > t
dap*S1*PS1 x dap*S1*PS2		0,158171497	0,04437486	3,56	0,0005
dap*S1*PS1 x dap*S1*PS3		0,194782581	0,04342078	4,49	<0,0001
dap*S1*PS2 x dap*S1*PS3		0,036611083	0,03927981	0,93	0,3525
dap*S2*PS1 x dap*S2*PS3		0,201099531	0,04791511	4,20	<0,0001
dap*S2*PS1 x dap*S2*PS2		-0,056540868	0,04815788	-1,17	0,2418
dap*S2*PS2 x dap*S2*PS3		0,056540868	0,04815788	1,17	0,2418

Sendo: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado para a variável dependente; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; dap = diâmetro medido a 1,30 m do solo; S = sítio (1 = I-A e 2 = I-B); PS = estratos (1 = dominante, 2 = intermediário e 3 = dominado); Vt = valor da estatística t.

A análise da Tabela 11 demonstra que, para o teste de inclinação, sob um nível de significância de 5% de probabilidade de erro, tanto no Sítio I-A como no Sítio I-B, o diâmetro de copa do estrato dominante difere significativamente do intermediário e do dominado, porém árvores que estão no estrato intermediário, por sua vez, não diferem estatisticamente do dominado.

Assim sendo os diâmetros de copa (dc), entre os estratos, em ambos os sítios, só são diferentes entre dominante e intermediário, com o dominado sendo igual ao intermediário.

Desta forma procedeu-se uma nova análise de covariância, agora para verificar a existência, ou não, de igualdade, em tendência, dos diâmetros de copa das árvores do estrato dominante de ambos os sítios (Tabela 12).

Tabela 12 – Análise de covariância, para teste de tendência, do diâmetro de copa, entre os estratos dominantes dos Sítios I-A e I-B, de *Hovenia dulcis*.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob. > F
Modelo	3	39,14	13,05	23,73	<0,0001
dap	1	35,21	35,21	64,03	<0,0001
S	1	0,23	0,23	0,42	0,5169
dap x S	1	0,10	0,10	0,18	0,6704
Resíduo	88	48,39	0,55		
Total	91	87,53			
Parâmetro		Estimativa	Erro	Vt	PR > t
dap*S1PS1 x dap*S2PS1		0,049987226	0,11703514	0,43	0,6704

Sendo: FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado para a variável dependente; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; dap = diâmetro medido a 1,30 m do solo S = sítio (1 = I-A e 2 = I-B); Vt = valor da estatística *t*.

Considerando uma significância de 5% do erro probabilístico, a Tabela 12 demonstra a não ocorrência de diferença significativa, em inclinação, entre os estratos dominantes dos Sítios I-A e I-B. Assim sendo se faz necessária uma análise para verificação do nível entre os estratos dos diferentes locais (Tabelas 13).

Pode-se verificar que, para um nível de significância de 5% de probabilidade de erro, ocorrem diferenças significativas, em nível, entre os estratos dominantes dos dois sítios. Além disso, o coeficiente angular informa que, as copas das árvores do Sítio I-B é, aproximadamente, meio metro maior no Sítio I-A. Esta situação pode estar condicionada aos fatores desfavoráveis oferecidas pelo Sítio I-B, relacionados ao excesso de umidade presente em camadas inferiores do solo, provocando baixa

estatura e diâmetros das árvores, e devido à concorrência por espaço aéreo, em busca de luz, condicionando a formação de copas relativamente maiores.

Tabela 13 – Análise de covariância, para teste de nível, do diâmetro de copa, entre os estratos dominantes dos Sítios I-A e I-B, de *Hovenia dulcis*.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob. > F
Modelo	2	39,04	19,52	35,83	<0,0001
dap	1	35,21	35,21	64,63	<0,0001
S	1	3,27	3,27	6,00	0,0163
Resíduo	89	48,49	0,45	0,54	
Total	91	87,53			
Parâmetro		Estimativa	Erro	Vt	PR > t
dap*S1 x dap*S2		-0,59340117	0,24226630	-2,45	0,0163

Sendo: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado para a variável dependente; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; dap = diâmetro medido a 1,30 m do solo; S = sítios (1 = I-A e 2 = I-B); Vt = valor da estatística t.

Já como as copas das árvores dos estratos intermediários e dominados, de ambos os sítios, não apresentaram diferença significativa, em inclinação, que para fins de análise foram considerados iguais e unidos.

Uma nova análise de covariância foi realizada, agora testando a inclinação entre a união dos estratos intermediários e dominados, dentro de cada um dos sítios (Tabela 14).

Tabela 14 – Análise de covariância, para teste de tendência, do diâmetro de copa, entre os estratos intermediários + dominados, dos Sítios I-A e I-B, de *Hovenia dulcis*.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob. > F
Modelo	3	33,54	11,18	30,79	<0,0001
dap	1	22,61	22,61	62,28	<0,0001
S	1	3,71	3,71	10,21	0,0018
dap x S	1	4,04	4,04	11,13	0,0012
Resíduo	107	38,85	0,36		
Total	110	72,39			
Parâmetro		Estimativa	Erro	Vt	PR > t
dap*S1 x dap*S2		-0,11393440	0,03415632	-3,34	0,0012

Sendo: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado para a variável dependente; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; dap = diâmetro medido a 1,30 m do solo; S = sítios (1 = I-A e 2 = I-B); Vt = valor da estatística t.

Para um nível de significância do erro probabilístico de 5%, os diâmetros de copa das árvores pertencentes à união dos estratos intermediários e dominados, dos Sítios I-A e I-B, demonstram que ocorre diferenciação significativa em inclinação.

A projeção gráfica, das funções ajustadas, para cada um dos estratos, em seus respectivos sítios, é apresentada na Figura 17 a seguir.

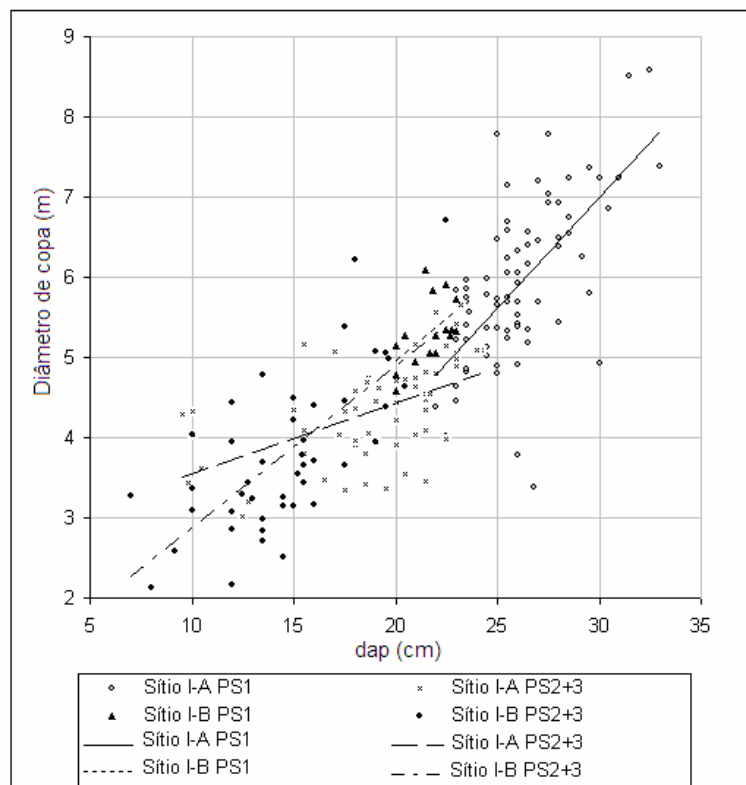


Figura 17 – Ajustes dos diâmetros de copa (dc) em função dos diâmetros do fuste (dap) para os estratos e sítios, de *Hovenia dulcis*.

Analisando a Figura 17 observa-se que as árvores pertencentes à união dos estratos dominado (PS3) e intermediário (PS2), do Sítio I-A, apresentam a tendência diferenciada do Sítio I-B, porém em média os valores são muito semelhantes. Já o estrato dominante (PS1), do Sítio I-A, apresenta valores consideravelmente superiores aos demais e isso identifica que a população estudada é constituída de dois grupos distintos, um formado pelas árvores ocupantes do estrato dominante do Sítio I-A, que apresentam diâmetros do fuste (dap) consideravelmente maiores para um mesmo diâmetro de copa, e outro formado pelos demais estratos de ambos os sítios.

Proporcionalmente, as árvores dominantes do Sítio I-A, apresentam copas menores, para uma mesma altura considerada (estrato), quando comparadas com as demais, evidenciando uma maior eficiência destas.

Trabalho semelhante foi desenvolvido por U.S. Forest Service (1970), ao estudar a relação diâmetro de copa em função do diâmetro do tronco de *Quercus* e *Carya*, situadas em sítios bons e médios e em três estratos distintos (dominante, codominante e intermediário). Porém os autores concluíram que não houve diferença no diâmetro das copas entre as espécies, os sítios e os estratos avaliados e que a relação diâmetro de copa e diâmetro do fuste foi próxima a linear.

Assim, os dados foram divididos em dois grupos, e para estimar o número de árvores necessário para a completa ocupação do espaço de um hectare foi utilizada a equação 5, para cada um dos grupos de dados. Sobre eles se ajustou o modelo de Reineke (equação 4), proporcionando a obtenção da linha que descreve a ocupação das árvores do estrato dominante do Sítio I-A, cujo coeficiente angular foi de -2,492 e, da união dos demais estratos (dominado+intermediário, dos Sítios I-A e I-B, acrescido do dominante do Sítio I-B), como coeficiente angular de -1,085. A projeção gráfica destas duas retas é apresentada na Figura 18, a seguir.

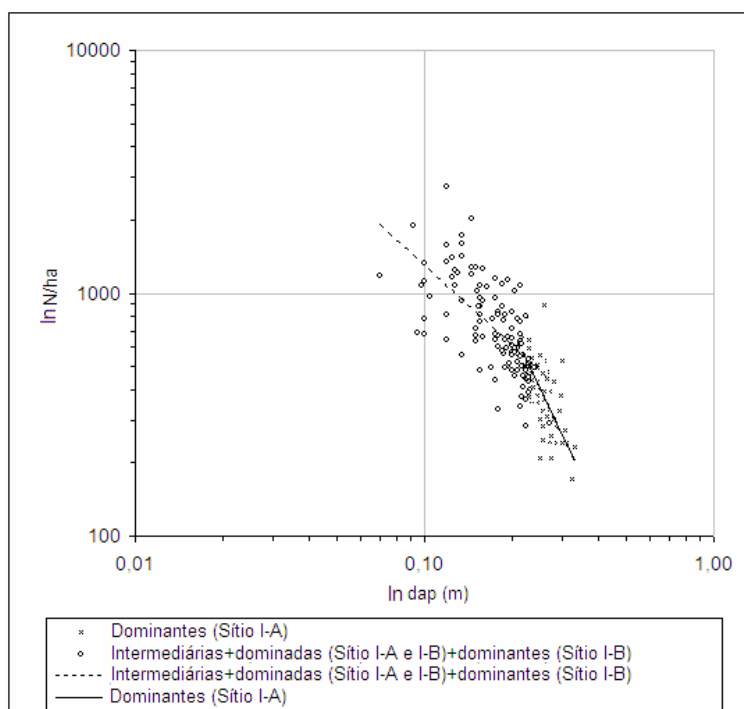


Figura 18 – Ajuste de modelos que expressam as linhas de ocupação, para os estratos dominante (Sítio I-A) e a união do dominado+intermediário (Sítios I-A e I-B) +dominante (Sítio I-B), de *Hovenia dulcis*, em escala logarítmica.

Na Figura 19 são apresentados os limites, inferior e superior, da ocupação da população, e das linhas A e D, em escala logarítmica.

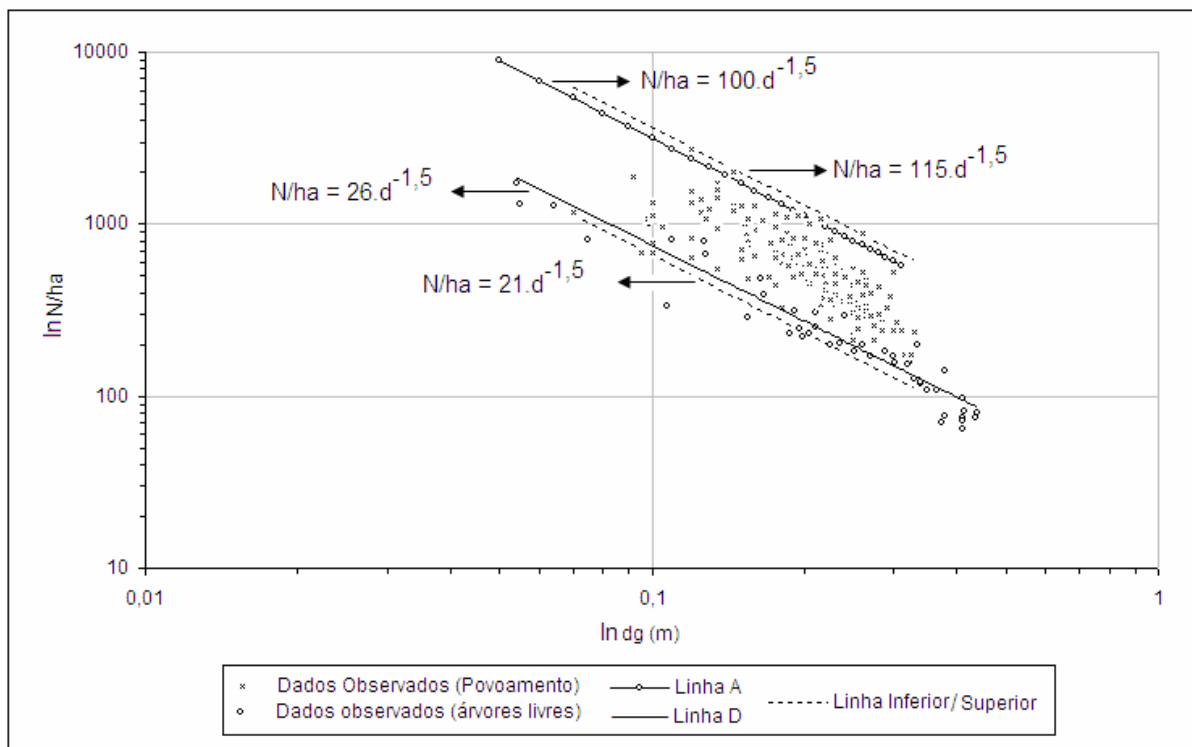


Figura 19 – Limite inferior e superior de ocupação dos locais, linhas de fechamento do dossel e autodesbaste, de *Hovenia dulcis*, em escala logarítmica.

A Figura 19 apresenta a linha que identifica o limite inferior de ocupação do local (linha tracejada inferior) com um traçado pouco abaixo da linha D. As árvores que margeiam essa faixa possuem características muito semelhantes às árvores livres, possuem copas relativamente grandes, são de baixa estatura, estão submetidas a uma pequena densidade, e por isso, possui uma baixa eficiência no uso do local, localizados em espaçamentos amplos, do Sítio I-B.

Na parte superior do gráfico podem ser visualizadas as linhas A (autodesbaste) e de ocupação do local (linha tracejada). Nota-se que ambas apresentam trajetórias muito semelhantes, o que identifica que as árvores do povoamento, localizadas nesta faixa, já estariam em densidade máxima, com apresentação de copas pequenas, portanto eficientes. As árvores localizadas nesta faixa são representadas por componentes do estrato dominante do Sítio I-A.

Segundo a literatura, a capacidade de suportar mais ou menos densidade está diretamente relacionado ao local (sítio) e também a espécie. Uma referência pertinente ao assunto é o trabalho desenvolvido por Gezan et al. (2007), que estudaram três gêneros de *Nothofagus*, espécie nativa do Chile, com a conclusão de que a espécie *dombeyi* suporta densidades mais altas (em relação às espécies *obliqua* e *alpina*). Segundo eles, a diferença entre os locais poderia ser o fator determinante.

5.2.3 Diagramas de densidade e faixa de manejo para *Hovenia dulcis*

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

Sobre isso, Puettmann et al. (1993) definiram a linha do início da mortalidade (B) como sendo paralela à de autodesbaste (A), cuja densidade relativa foi de 44% para *Alnu rubra*, e 58% para *Pseudotsuga menziesii*. Para DeBell et al. (1989), a densidade relativa, que fixa o início da mortalidade (B), é atingida quando 3% da população perecem, isso em povoamentos de *Pinus taeda*, comprovado com sucessivas medições. Já a faixa de densidade ótima, indicada para operações de desbastes no manejo dos povoamentos, em que é obtido o estoque completo com ausência de autodesbaste e com bastante recuperação do volume, situou-se acima dos 30% e abaixo dos 45% da linha de autodesbaste.

No presente estudo, tanto a linha de autodesbaste (A) como a linha de fechamento do dossel (D), foram elaboradas com o ajuste do modelo Reineke (1933) para dados reais levantados em populações sob concorrência e em indivíduos livres de *Hovenia dulcis*, respectivamente.

A linha B, que neste trabalho não necessariamente reflete o início da mortalidade e sim a linha superior de manejo, e a linha C (linha inferior de manejo), que focaliza o início do estabelecimento da máxima produtividade do povoamento,

são projetadas percentualmente em função da linha de autodesbaste (A). Estas correspondem a 50%, mais e menos 7,5%, efetivamente compreendendo a 42,5 e 57,5%, respectivamente, da linha de autodesbaste, com a faixa de manejo recomendada para a espécie ficando em 15%, apresentada na Figura 20, em escala logarítmica.

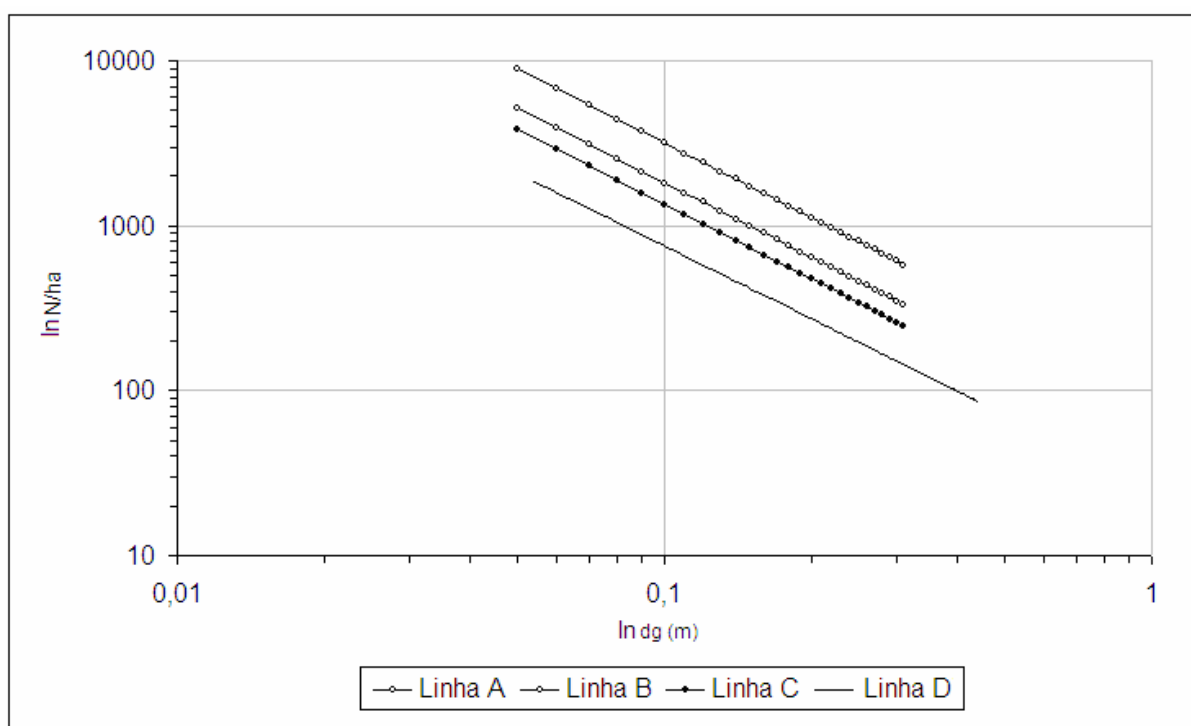


Figura 20 – Linhas de densidade e faixa de manejo, para *Hovenia dulcis*, localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, em escala logarítmica.

Além das linhas de densidade anteriormente apresentadas (Figura 20), usualmente são encontrados na literatura os chamados diagramas de estoque, propostos por Ginrich (1967), em que a densidade é definida em função da área basal e o diâmetro de área basal média, que para facilitar a visualização serão divididos em duas partes (Figuras 21 e 22).

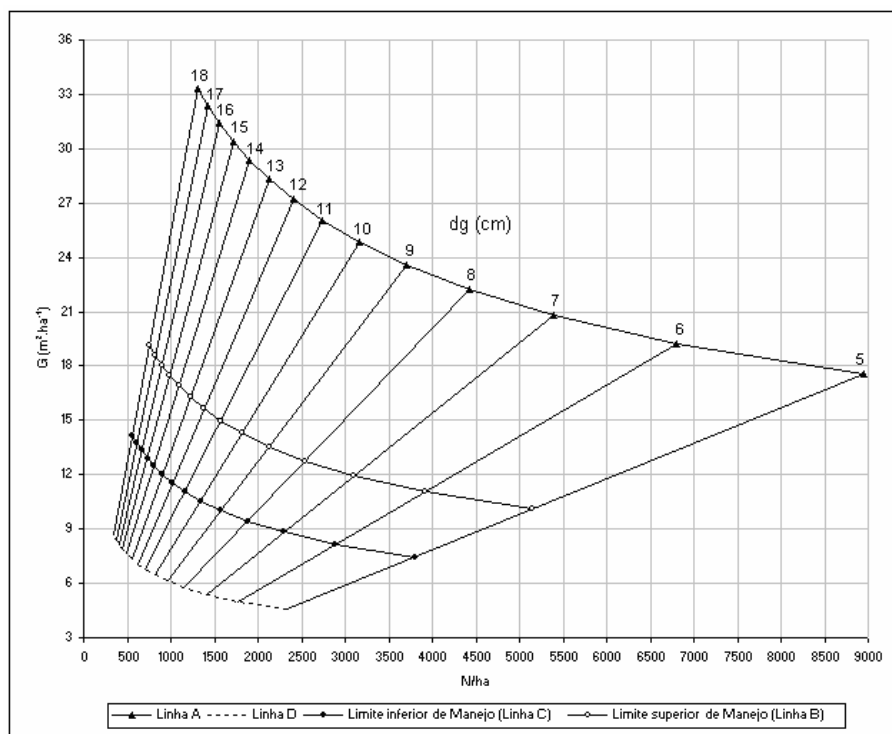


Figura 21 – Diagrama de densidade, para *Hovenia dulcis*, localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Parte 1).

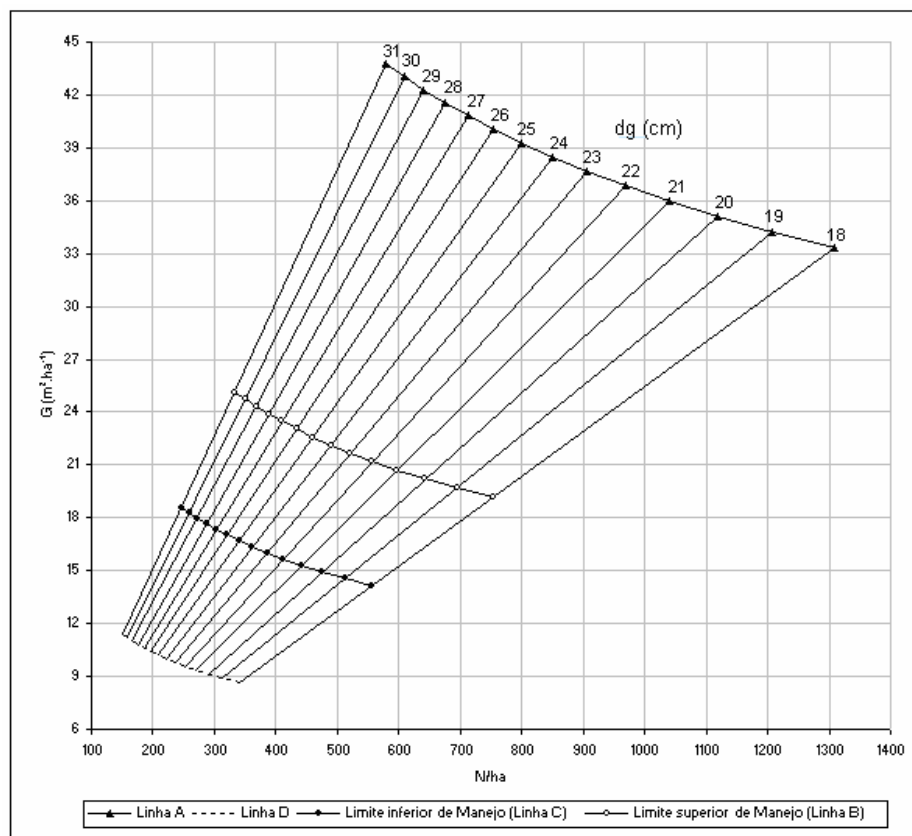


Figura 22 – Diagrama de densidade, para *Hovenia dulcis*, localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Parte 2).

Ao observar as Figuras 21 e 22, nota-se que se formam faixas entre as linhas elaboradas. Ginrich (1967) nomeou essas três faixas como sendo, de baixo para cima, **Faixa subestocada**, que correspondente ao trecho entre as linhas D e C; **Faixa totalmente abastecida**, a que está entre as linhas B e C, também chamada de faixa recomendada de manejo e; **Faixa superestocada**, compreendendo o vão entre as linhas A e B.

Na Tabela 15 e Figura 23 estão apresentados valores correspondentes a linha de A (autodesbaste), linha B (limite superior de manejo), linha C (máxima produção), e linha D (densidade de fechamento das copas).

Tabela 15 – Densidade populacional para as linhas A, B, C e D, de *Hovenia dulcis*, localizada no centro de estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

dg (m)	Linha D		Linha C		Linha B		Linha A	
	G (m ² /ha)	N/ha	G (m ² /ha)	N/ha	G (m ² /ha)	N/ha	G (m ² /ha)	N/ha
0,05	4,57	2326	7,46	3801	10,10	5143	17,56	8944
0,06	5,00	1769	8,18	2892	11,06	3912	19,24	6804
0,07	5,40	1404	8,83	2295	11,95	3105	20,78	5399
0,08	5,78	1149	9,44	1878	12,77	2541	22,21	4419
0,09	6,13	963	10,01	1574	13,55	2130	23,56	3704
0,10	6,46	822	10,56	1344	14,28	1818	24,84	3162
0,11	6,77	713	11,07	1165	14,98	1576	26,05	2741
0,12	7,07	625	11,56	1022	15,64	1383	27,21	2406
0,13	7,36	555	12,04	907	16,28	1227	28,32	2133
0,14	7,64	496	12,49	811	16,90	1098	29,39	1909
0,15	7,91	448	12,93	732	17,49	990	30,42	1721
0,16	8,17	406	13,35	664	18,06	898	31,42	1563
0,17	8,42	371	13,76	606	18,62	820	32,38	1427
0,18	8,66	340	14,16	557	19,16	753	33,32	1309
0,19	8,90	314	14,55	513	19,69	694	34,23	1207
0,20	9,13	291	14,93	475	20,20	643	35,12	1118
0,21	9,36	270	15,30	442	20,70	598	35,99	1039
0,22	9,58	252	15,66	412	21,18	557	36,84	969
0,23	9,79	236	16,01	385	21,66	521	37,67	907
0,24	10,00	221	16,35	361	22,12	489	38,48	851
0,25	10,21	208	16,69	340	22,58	460	39,27	800
0,26	10,41	196	17,02	321	23,03	434	40,05	754
0,27	10,61	185	17,34	303	23,47	410	40,81	713
0,28	10,81	175	17,66	287	23,90	388	41,56	675
0,29	11,00	166	17,98	272	24,32	368	42,30	640
0,30	11,18	158	18,28	259	24,74	350	43,02	609
0,31	11,37	151	18,58	246	25,14	333	43,73	579

Sendo: dg = diâmetro de área basal média; N/ha = número de árvores por hectare; G = área basal por hectare.

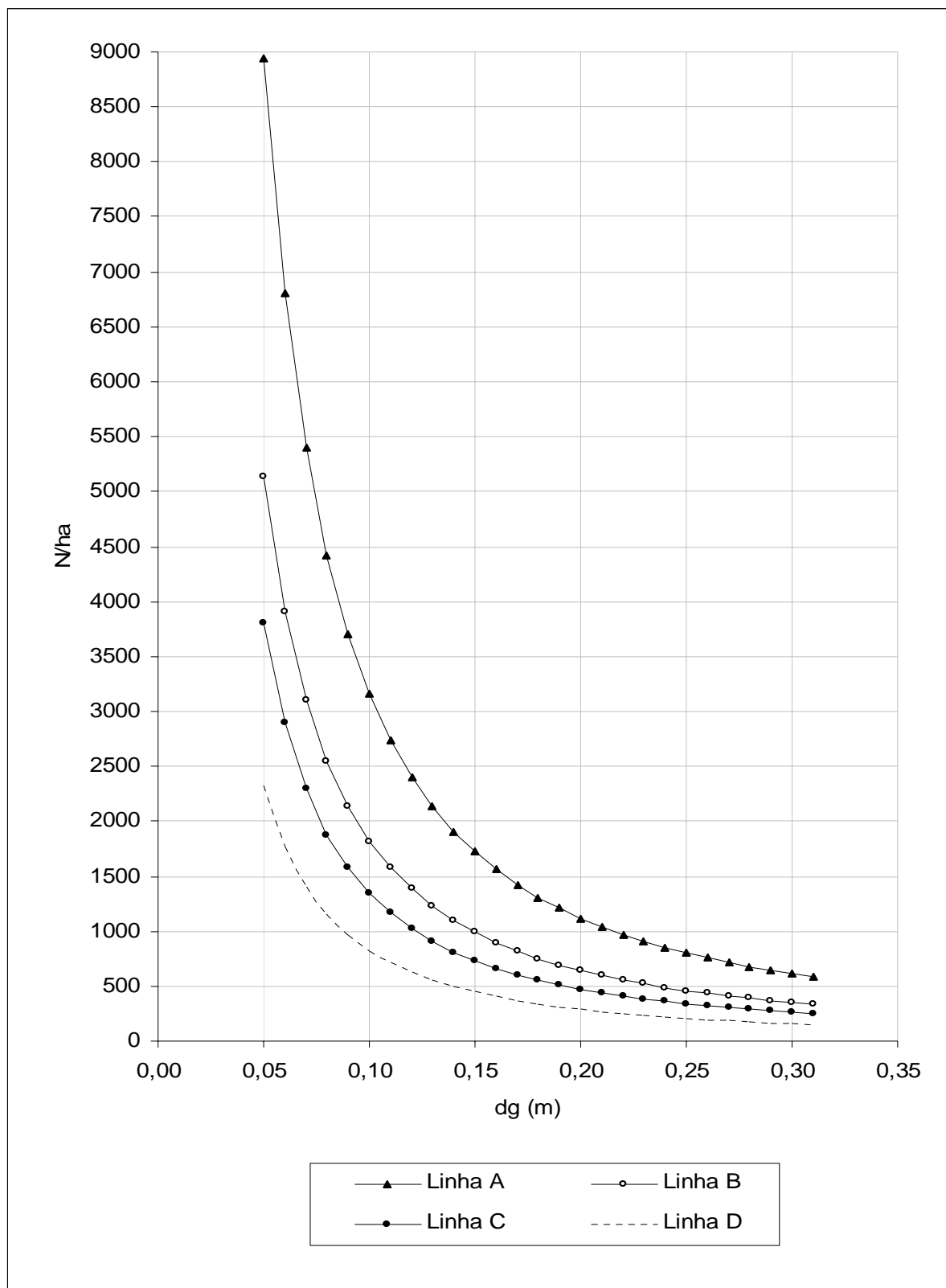


Figura 23 – Linhas de densidade e de manejo para *Hovenia dulcis*, localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

Observa-se, na Tabela 15 e Figura 23, que para a **Faixa recomendada de manejo** da espécie, aos 25 cm de diâmetro de área basal média, em índices de sítios de 20 a 24 m, com lotação de 42,5 e 57,5%, a densidade fica entre 340 e 460 árvores/ha, com área basal de 16,69 a 22,58 m²/ha⁻¹. Já a linha de autodesbaste (A), que representa a máxima lotação para o local (100%), no diâmetro padrão (25 cm), chega a 800 árvores/ha, com uma área basal acumulada de pouco mais de 39 m²/ha⁻¹.

Trabalho pertinente a este foi realizado por Ginrich (1967), estudando a lotação e a densidade de *Quercus*, nos EUA, definindo que, para uma densidade de 81 árvores/ha (200 árvores/acre), com uma área basal de 20,7 m²/ha (90 pés²/acre), obteve uma lotação de 80% do sítio, em um povoamento com 22,9 cm de diâmetro médio (9 polegadas). Para ele, a linha C variou de 55 a 58% da lotação máxima do sítio. Também cita que a espécie leva em torno de 10 anos para passar da linha C para a B, em povoamentos situados entre os sítios de índices 55 e 75. O autor ainda acrescenta que o intervalo de tempo entre as linhas D e C poderia levar de 12 a 15 anos para ser atingido, pelos povoamentos localizados em sítios médios, e de 5 a 8 anos, para os localizados em sítios bons.

5.3 Simulação de desbastes auxiliada pelo diagrama de manejo

Com objetivo de demonstrar a aplicação dos diagramas de manejo de densidade elaborados, passaremos a simular uma aplicação. Partiu-se da existência de um povoamento de *Hovenia dulcis* implantado em local aonde o índice de sítio vai de 20 a 24 metros, com densidade inicial de 1.666 árvores/ha (3 x 2 m), onde se planeja intervir aplicando dois desbastes durante o ciclo da cultura, com o corte raso no final da rotação. A demonstração planejada do número de árvores remanescentes e a respectiva área basal, assim como o que será retirado nas duas intervenções e seus pesos constam da Tabela 16.

Tabela 16 – Plano de aplicação de desbastes para condução de um povoamento de *Hovenia dulcis* implantado com densidade inicial de 1.667 árvores/ha, em local com índice de sítio de 20 a 24 metros.

dg (m)	Remanescente		Desbaste			
	N/ha	G (m ² /ha)	N/ha	Peso (%N/ha)	G (m ² /ha)	Peso (%G)
0,055	1666	3,96				
0,110	1666	15,83				
0,127	950	12,03	716	42,98	3,80	24,00
0,165	950	20,31				
0,240	360	16,29	590	37,89	4,03	19,84
0,310	360	27,17				

Sendo: dg = diâmetro de área basal média; N/ha = número de árvores por hectare; G = área basal por hectare; %G = percentual da área basal por hectare.

De acordo com a simulação o povoamento será conduzido com a aplicação de dois desbastes de intensidade moderada, com o primeiro retirando 24% da área basal e o segundo extraíndo 29,84 % da mesma variável, com o corte raso no final do ciclo. Em termos de número de árvores, na primeira intervenção serão retiradas 42,98%, e na segunda 37,89%.

Como na simulação foi objetivada a aplicação de apenas dois desbastes técnicos, a preferência por não aplicar intervenções pesadas, reporta-se ao fato de que isso provocaria uma abertura muito grande no dossel. No caso do primeiro desbaste, as árvores ainda estão com o fuste muito fino, e um desbaste de maior intensidade poderia propiciar sérios danos pelo vento na população remanescente, além de induzir o surgimento de galhos epicórnios, pela incidência excessiva de luz. Outro fator que induz a aplicação de apenas duas intervenções é a necessidade de minimizar os custos, pois a madeira retirada, normalmente não cobre os valores aplicados nestas operações. Salienta-se que os limites fixados pela faixa de manejo não precisam, necessariamente, ser obedecidos. Eles apenas servem como parâmetro técnico, e podem ser ultrapassados quando outros fatores forem considerados, como por exemplo, o econômico.

Na Figura 24 é apresentada graficamente a demonstração da aplicação das intervenções sobre o **Diagrama de manejo da densidade** de estoque.

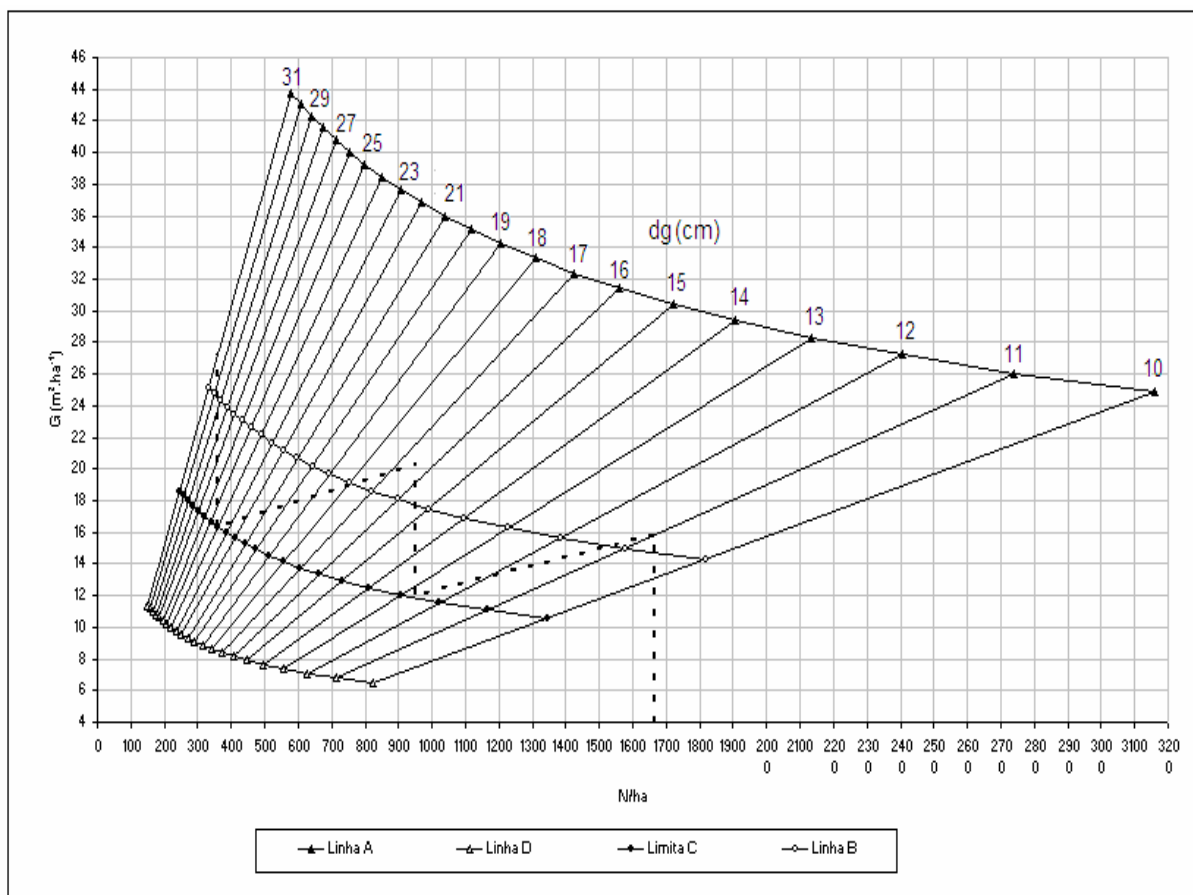


Figura 24 – Simulação de aplicação de desbastes sobre o diagrama de manejo de densidade, para *Hovenia dulcis*.

Na Figura 24 a linha oscilante tracejada refere-se à simulação de aplicação de dois desbastes no povoamento com densidade inicial de 1.666 árvores/ha. Observa-se que as intervenções extrapolaram a linha delimitadora superior da faixa recomendada de manejo (linha B), o que é plenamente justificado, pois ao extrair um maior número de árvores, pode-se aguardar um maior espaço de tempo entre os desbastes, porém se deve ter o cuidado de não provocar excessiva abertura no povoamento (na exemplificação, em média, retirou-se aproximadamente 40% do número de árvores).

6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos no presente estudo, concluiu-se que:

a) A análise de covariância definiu que existe diferença entre dois locais estudados (Sítio I-A e I-B+II+III), com os testes identificando que o modelo de Backman descreve melhor a relação altura dominante e idade, para *Hovenia dulcis*, nas idades entre 5 e 25 anos, sendo selecionado para descrever as curvas índice de sítio;

b) Foram necessárias três curvas índice de sítio para o local designado como Sítio I-A, e seis para o local que compreende a união dos Sítios I-B+II+III, na idade índice de 25 anos, com intervalo de 2 metros entre os índices;

c) Para ambos os locais, a classificação de sítio elaborada, deve ser empregada com cautela em idades próximas aos 5 anos, podendo incorrer em erros, com a necessidade de aferição com informações reais, antes da utilização;

d) O modelo de Reineke ajustou-se com boa precisão, estimando as linhas de fechamento do dossel (D) e de autodesbaste (A), com coeficiente angular de aproximadamente -1,5, o que contempla a lei da potência de autodesbaste formulada por Yoda et al. e se aproxima muito da hipótese postulada por Reineke;

e) A densidade populacional, para o início da total lotação do dossel, é de 42,5% do número máximo de árvores que o local permite;

f) Com os dados coletados foi possível construir diagramas para o manejo da densidade, dos 5 aos 31 cm de diâmetro da árvore de área basal média.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABETZ, P.; OHNEMUS, K. Der Z-Baum-Bestockungsgrad (Definition, Herleitung, Anwendung). **Allg. Forst- u. J.-Ztg.**, Wien, v. 165, n.10-12, p.177-185, Oct./Dec. 1994.

ABRÃO, P. U. R.; GIANLUPPI, D.; AZOLIN, M. A. D. **Levantamento semidetalhado dos solos da Estação Experimental de Silvicultura de Santa Maria**. Porto Alegre, 1988. 75 p.

ALDER, D. Forest volume estimation and yield prediction. **FAO Forestry Paper**, Rome, v. 2, n. 22, p. 1-194, Jan./Dec. 1980. 194 p.

ARCHIBALD, D. J.; BOWLING, C. **Jack pine density management diagram for boreal Ontario**. Northeast Science & Technology. NEST Technical Note TN-05. 1995, 19p.

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

BACKES, P.; IRGANG, B. **Árvores cultivadas no sul do Brasil: guia de identificação e interesse paisagístico das principais espécies exóticas 1**. Porto Alegre: Paisagens do Sul, 2004. p. 170-171.

BACKMAN, G. **Wachstum und organisches Zeit**. Leipzig: Johann Ambrosius Barth, 1943. 192 p.

BARUSSO, A. P. **A determinação de funções de crescimento mediante análise de tronco**. 1977. 122 f Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BATISTA, J. L. F.; DO COUTO, H. T. Z. Escolha de modelos matemáticos para a construção de curvas de índice de sítio para florestas implantadas de *Eucalyptus* sp no Estado de São Paulo. **Revista do IPEF**, Piracicaba, n. 32, p. 33-42, abr. 1986.

BELL, T. I. W. **Management of the Trinidad mora forests with special reference to the Matura Forest Reserve**. Port of Spain: Forestry Division, 1971. 70 p.

BERLATO, M. A. et al. Tendência observada da precipitação pluvial anual e estacional do estado do Rio Grande do Sul e relação com a temperatura da superfície do mar do Oceano Pacífico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15. 2007. **Anais ...** Aracajú: jul. 2007. CD Rom.

BERGER, R. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 2, n. 2, p. 75-87, jan./dez. 2002.

BRIEGLEB, P. A. An approach to density measurement in Douglas-Fir. **Journal of Forestry**, Bethesda, v. 50, n. 7, p. 529–536, Oct./Nov. 1952.

BRUCE, D.; SCHUMACHER, F. X. **Forest mensuration**. New York: MacGraw-Hill, 1950. 483 p.

BURGER, D. **Ordenamento florestal I**. 2. ed. Curitiba: Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 1976. 224 p.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. Viçosa: UFV, 2002. 407 p.

CARMEAN, W. H. Forest site quality evaluation in the United States. USDA For. Nor. Cen. For. Exp. Sta. Reprint from **Advances in Agronomy**, New York, v. 27, p. 209-269, 1975.

CARVALHO, P. E. R. **Ecologia, silvicultura e usos da uva-do-japão (*Hovenia dulcis* Thunberg)**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 1994. p. 24-65 (Circular Técnica EMBRAPA).

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1v. 1039 p. (Coleção Espécies Arbóreas Brasileiras).

CHAPMANN, H. H.; MEYER, W. H. **Forest mensuration**. New York: McGraw Hill, 1949. 522 p.

CLUTTER, J. L. et al. **Timber management: a quantitative approach**. New York: John Wiley & Sons, 1983. 333 p.

COLETTE, L. Le développement du hêtre-type en futaie jardinee. **Bull. Société Forestière Belgique**, Paris, v. 58, n. 10, p. 415–420, Oct. 1951.

CUNHA NETO, F. R. et al. Uso da diferença algébrica para a construção de curvas de índice de sítio para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, na região de Luiz Antonio – SP. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 2, p. 119-141, jun./dez. 1996.

CURTIN, R. A. Stand density and the relationship of crown width to diameter and height in *Eucalyptus obliqua*. **Australian Forestry Journal**, Canberra, v. 28, n. 2, p. 91–105, Jul./Dec. 1964.

CURTIS, R. O. A tree area power function and related stand density measures for Douglas-Fir. **Forest Science**, Bethesda, v. 17, n. 2, p. 146-159, Apr. 1971.

DACOSTA, L. P. E. **Aspectos de crescimento de povoamentos jovens de *Pinus taeda* L. na Província de Corrientes, república Argentina**. 2008, 130 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

DANIELS, R. F.; BURKHART, H. E.; CLASON, T. R. A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. **Canadian Journal for Forest Research**, Montreal, v. 16, n. 6, p. 1230-1237, Dec. 1986.

DAWKINS, H. C. Crown diameters, their relation to bole diameter in tropical forest trees. **Commonwealth Forestry Journal**. v. 42, p. 318-333, Jan./ Dec. 1963.

DEBELL, D. S.; HARMS, W. R.; WHITESELL, C. D. Stockability: a major factor in productivity differences between *Pinus taeda* in Hawaii and the southeastern United States. **Forest Science**, Bethesda, v. 35, n. 3, p. 708-719, Sep. 1989.

DELLA-FLORA, J. B. **Modelos de crescimento para árvores singulares: *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez. e *Ocotea puberula* Ness.** 2001. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

DRESCHER, R. **Crescimento e produção de *Tectona grandis* Linn F., em povoamentos jovens de duas regiões do estado de Mato Grosso – Brasil.** 2004. 116 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

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.

DUCHAUFOR, A. L'aménagement de La forêt de Compiègne. **Revue dès Eaux et Forêts**. Paris, v. 1, n. 42, p. 65-78, Jan./Déc. 1903.

DURLO, M. A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. Santa Maria. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 141-149, jan./jun. 2001.

DURLO, M. A. **Zuwachsuntersuchungen und Einzelbaumwachstumodelle für *Cabralea glaberrima*, *Cedrela fissilis* und *Cordia trichotoma* in sekundären Laubmischwäldern Südbrasilens.** 1996. 175 f. Dissertation (Doktorat) – Universität fur Bodenkultur, Seiten, Wien.

DURLO, M. A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana* em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 44-55, jan./dez. 1998.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C.; SPATHELF, P. Perspectivas do manejo florestal por árvores singulares. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 71-82, jan./jun. 2000.

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

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F. da; PINTO, J. R. Idade e crescimento das árvores. **Comunicações Técnicas Florestais**, Brasília, v. 7, n. 1, p. 1-25, dez. 2005.

FERREIRA, C. A. **Estimativa do volume de madeira aproveitável para celulose em povoamentos de *Eucalyptus* spp.** 1976. 104 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Piracicaba.

FINGER, C. A. G. **Crescimento e produção florestal.** Santa Maria: UFSM/PPGEF, 2005. 160 p. (Polígrafo).

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: CEPEF/FATEC/UFSM, 1992. 269 p.

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

FLEIG, F. D. **Morfometria e Quantificação da Biomassa Comercial e Residual da poda de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em reflorestamentos**. 2002. 140 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

FLORIANO, E. P. et al. Ajuste e seleção de modelos tradicionais para série temporal de dados de altura das árvores. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 2., p. 177-199, abr./jun. 2006.

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.

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

GOOGLE EARTH. **Software licenciado pela Google**. v. 5.0, EUA, 2008.

GREY, D. C. On the concept of site in forestry. **Southern African Forestry Journal**, Menlo Park, v. 113, n.1, p. 81-83, Jan./Dec. 1980.

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>. Acesso em 5 set. 2008. 17 p. 1997.

HASENAUER, H. Dimensional relationships of open-grown trees in Austria. **Forest Ecology and Management**, St. Louis, v. 96, n. 3, p. 197-206, Mar. 1997.

HASENAUER, H. Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Fichten-Kiefern- und Buchen-Fichtenmischbestände. **Fostliche Schriftenreihe Universität für Bodenkultur**, Wien, Band 8, 152 p. 1994.

HASENAUER, H. Princípios para a modelagem de ecossistemas florestais. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 53-69, jan./jun. 2000.

HASENAUER, H.; MOSER, M.; ECKMÜLLNER, O. Ein Programm zur Modellierung von Wachstumsreaktionen. **Allgemeine Forstzeitung**, Wien, v. 4, p. 216-218, Mar. 1995.

HEMERY, G. E.; SAVILL, P. S.; PRYOR, S. N. Applications of the crown diameter-stem diameter relationship for different species of broadleaved trees. **Forest Ecology and Management**, St. Louis, v. 215, n. 1/3, p. 285-294, Jan./Mar. 2005.

HESS, A. F. **Inter-relações no crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em diferentes locais do Rio Grande do Sul**. 2006. 177 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

HUSCH, B; MILLER, I. C; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. New York: J. Wiley, 1982. 402 p.

JONES, J. R. **Review and comparison of site evaluation methods**. USDA For. Serv. Res. Pap. RM-51. 1969. 27 p.

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.

KRAFT, G. **Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben**. Hannover: Königlich Preufsischem Forstmeister. Klindworth's Verlag, 1884. 145 p.

KRAMER, P. J., KOSLOWSKI, T. T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1960. 745 p.

LACERDA, J. S.; COUTO, H. T. Z. O uso da lei do autodesbaste na definição do espaçamento para plantios de *Eucalyptus*. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 182, abr. 1993.

LINTAB™. **Tree-ring measurement station**. Rimmtech. Hardtstr. 20-22. D-69124 Heidelberg. Germany, 2000.

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.

MALUF, J. R. T., Nova classificação climática do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 141-150, jan. 2000.

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

MICROSOFT® OFICCE EXCEL. **Parte do produto Microsoft Office Professional 2003**. Copyright© 1985-2003 Microsoft Corporation. 2003.

MINCKLER, L. S.; GINGRICH, S. F. **Relation of crown width to tree diameter in some upland hardwood stands of southern Illinois**. St. Paul: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station, 1970. 4 p. (Research Note, NC-99.).

MITCHELL, H. C. Regulation of farm woodlands by rule of thumb. **Journal of Forestry**, Bethesda, v. 41, n. 4, p. 243-248, Mar. 1943.

MOSER, J. W., HALL, O. F. Deriving growth and yield functions for uneven-aged forest stands. **Forest Science**, Bethesda, v. 15, n. 2, p. 1983-1991, Apr. 1969.

NUTTO, L. et al. Utilização dos parâmetros da copa para avaliar o espaço vital em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. **Boletim Pesquisas Florestais**, Colombo, n. 42, p. 123-138, jan./jun. 2001.

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

PARVIAINEN, J., NAUMANN, N. A Finlândia e suas florestas. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 1/2, n. 16, p. 5-18, jan./dez. 1986.

PEET, R. K.; CRISTENSEN, N. L. Composition and tree death. **BioScience**, Washington, v. 37, n. 11, p. 586-681, Nov. 1987.

PIENNER, L. V., TURNBULL, K. J. The Chapman-Richards generalization of von Bertalanffy's growth model for basal area growth and yield in even-aged stands. **Forest Science**, Bethesda, v. 19, n. 1, p. 2-21, Feb. 1973.

PRETZSCH, H. Perspektiven einer modellorientierten Waldwachstumsforschung Forstwissenschaftliches Centralblatt. **European Journal of Forest Research**, Berlin/Heidelberg, v. 114, n. 1, p. 188-209, Jan/Dec. 1995.

PRODAN, M. et al. **Mensura Forestal**. San José: IICA, 1997. 586 p. (Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible).

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**, Beltsville, v. 7, n. 46, p. 627-638, Jan./Dec. 1933.

RICARDO'S, F. J. A flexible growth function for empirical use. **Journal Experimental Botany**, Oxford, v. 10, n. 2, p. 290-301, Jun. 1959.

RIGATTO, P. A. et al. **Características físicas, químicas e anatômicas da madeira de *Hovenia dulcis***. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2001. 4p. (Comunicado Técnico).

RIGOZO, N. R.; NORDEMANN, D. J. R. Registros da atividade solar nos anéis de crescimento de árvores em São Francisco de Paula, RS, Brasil. **Brazilian Journal of Geophysics**, São José dos Campos, v. 18, n. 1, p. 91-97, mar. 2000.

ROSOT, M. A. D. et al. Análise de tronco digital: uma nova metodologia para a medição de anéis de crescimento. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 33, n. 3, p. 235-255, out./dez. 2003.

SAMMI, J. C. An appeal for a better index of site. **Journal of Forest**, New York, v. 3, n. 63, p. 174-176, Jan./Dec. 1965.

SANQUETTA, C. R. Produção de madeira livre de nós em povoamentos de *Pinus taeda* em função da densidade de plantio. **Cerne**, Lavras, v. 9, n. 2, p.129-140, jul./dez. 2003.

SARAIVA, L. M. S. **Índice de densidade de Reineke para *Acacia mearnsii*** De Wild. 1980. 20 f. Monografia (Especialização em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SAS. **The SAS System for Windows**. Copyright (c) 1999-2001 by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 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).

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

SCHNEIDER, P. R. 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. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1993. 348 p.

SCHNEIDER, P. R., FINGER, C. A. G., MENEZES, L. F. **Fundamentos de planejamento da produção para o manejo florestal de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden e *Eucalyptus saligna* Smith**. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1988. 179 p.

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

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

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

SEITZ, R. Erste Hinweise für die waldbauliche Behandlung von Araukarienwäldern. **Annales des Sciences Forestières**, Paris, n. 43, p. 327-338, Jan./Déc. 1986.

SELLE, G. L. **Classificação de sítios para *Pinus taeda* L., através da altura dominante, para a região de Cambará do Sul, RS, Brasil.** 1993. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SELLE, G. L. et al. Influência de diferentes tipos de cobertura na germinação e sobrevivência de mudas de uva-do-japão. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 6, n. 4, p. 20-22, nov. 1993.

SELLE, G. L.; PAULESKI, D. T.; BRAZ, E. M. Como classificar sítios florestais através da altura dominante do povoamento. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2008. 46 p. (Série Documentos EMBRAPA).

SELLE, G. L.; VUADEN, E. Comportamento do mercado de produção e do consumo de madeira serrada. **Caderno de Pesquisa: Série Biologia**, Santa Cruz do Sul. 2009. (prelo).

SILVA, L. T. M. **Morfometria, qualidade do tronco e da copa de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. em povoamento experimental no estado do Rio Grande do Sul.** 2007. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SMITH, C.; GIBBS, C. B. **A guide to sugarbusch stocking:** based on the crown diameter/D.b.h. relationship of open-grown sugar maples. Washington: Forest Service, 1970. 10 p. (Reserarch Paper NE-171).

SOUZA, C. C. **Modelo de crescimento, com variáveis ambientais, para o ipê-felpudo em diferentes espaçamentos.** 2004. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

SPATHELF, P.; NUTTO, L.; SELING, I. Condução do crescimento em diâmetro de *Eucalyptus grandis* com base em árvores individuais. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 1., 2000, Santa Maria. **Anais ...** Santa Maria, 2000. p. 471-490

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

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

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

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Emater/RS, UFRGS, 2008. 222 p.

TANG, S. et al. A growth and self-thinning model for purê even-aged stands: theory and applications. **Forest Ecology and Management**. St. Louis, v. 70, n. 1, p. 67-73, Jan. 1984.

THILL, A. Qualites des grumes de quelques essences feuillues, et de l'épicea commun. **Bulletin de la Societe Royale Forestiere de Belgique**, Paris, n. 87, p. 1-7, 1980.

TONINI, H. **Crescimento em altura de *Pinus elliottii* Engelm, em três unidades de mapeamento de solo, nas regiões da Serra do Sudeste e Litoral, no estado do Rio Grande do Sul**. 2000. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

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

TSAP-Win™. **Software for tree-ring measurement, analisys and presentation**. Rimmtech. Hardtstr. 20-22. D-69124 Heidelberg. Germany, 2000.

U.S. FOREST SERVICE. **Relation of crown width to tree diameter in same upland hardwood stands of southern Illinois**. St. Paul: Southern Forest Experiment Station Library. 1970. 4 p. (Research Note nc-99).

VOLKART, C. M. Determinacion de la relation diametro copa: diametro tronco *Araucaria angustifolia* e *Pinus elliottii* em la Província de Misiones. In: CONGRESSO FORESTAL ARGENTINO, 1., 1969. Buenos Aires. **Anais ...** Buenos Aires: FAO, 1969. p. 231-237.

WACHTEL, G. **Untersuchungen zu struktur und dynamik eines araukariennaturwaldes in südbrasilien**. 1990. 180 f. These (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universität Freiburg, Freiburg.

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

WEAVER, P. L. Agri-silviculture in tropical América. **Unasyiva**, Roma, v. 31, n. 126, p. 2-12. jan./dez. 1979.

WEST, P. W.; BOUROUGH, C. J. Tree supervision and the self-thinning. Rule in a monoculture of *Pinus radiata* D. Don. **Annals of Botany**, London, v. 52, n. 2, p. 149-158, Jul./Dec. 1983.

WILSON, F. G. Numerical expression of stocking in terms of height. **Journal Forestry**, New York, v. 44, n. 1, p. 758-761. Jan./Dec. 1946.

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.