

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

**MORFOMETRIA E INCREMENTO DE
Cordia trichotoma (Vell.) Arráb. ex Steud. NA
REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL**

TESE DE DOUTORADO

Elisabete Vuaden

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

MORFOMETRIA E INCREMENTO DE
***Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. NA REGIÃO**
CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL

Elisabete Vuaden

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

Orientador: Prof. Dr. Frederico Dimas Fleig

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Vuaden, Elisabete
Morfometria e incremento de Cordia trichotoma (Vell.)
Arráb. ex Steud. na região central do Rio Grande do Sul
/ Elisabete Vuaden.-2013.
101 p.; 30cm

Orientador: Frederico Dimas Fleig
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2013

1. Modelo 2. Incremento periódico anual 3. Copa 4.
Competição I. Fleig, Frederico Dimas II. Título.

© 2013

Todos os direitos autorais reservados a Elisabete Vuaden. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: elisabetevuaden@hotmail.com

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

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado**

**MORFOMETRIA E INCREMENTO DE
Cordia trichotoma (Vell.) Arráb. ex Steud. NA REGIÃO
CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL**

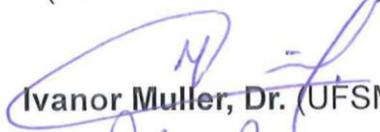
elaborada por
Elisabete Vuaden

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

COMISSÃO EXAMINADORA



Frederico Dimas Fleig, Dr.
(Presidente/Orientador)



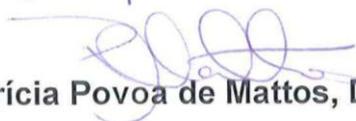
Ivanor Muller, Dr. (UFSM)



Solon Jonas Longhi, Dr. (UFSM)



Magda Léa Bolzan Zanon, Dr. (UFSM)



Patrícia Povoá de Mattos, Dr. (EMBRAPA)

Santa Maria, 22 de Fevereiro de 2013.

À minha família,
em especial à minha mãe,
pelo exemplo de amor e ternura
dedico...

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelas incontáveis bênçãos, proteções e pela divina luz concedida até o presente momento.

À minha família, pelo grande amor, carinho e compreensão.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal.

Ao meu orientador, Prof. Frederico D. Fleig, pela atenção, dedicação e sugestões feitas durante a orientação.

Às queridas amigas e colegas Veridiana, Simone, Paola e Fabiani pela grande amizade, apoio e pelos momentos de alegrias que fazem a minha trajetória ser mais prazerosa.

Aos queridos amigos Gerson Luiz Selle e Evaldo Muñoz Braz pela amizade, atenção e incontáveis conselhos.

Aos colegas Evandro Alcir Meyer, Lilian Pereira e Jorge Diefenteller pela imensa ajuda e apoio na coleta dos dados.

À amiga Tania, pela presença carinhosa em minha vida, pelo imenso amor maternal, sempre atenciosa e me apoiando em todos os momentos.

A todos que contribuíram de uma forma ou de outra para que eu concluísse mais uma etapa em minha vida!

Muito obrigada!

**A dedicação, a persistência e o merecimento
andam de mãos dadas!**

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

MORFOMETRIA E INCREMENTO DE *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. NA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL

AUTOR: ELISABETE VUADEN
ORIENTADOR: Dr.FREDERICO DIMAS FLEIG
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 26 de fevereiro de 2013.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a morfometria e descrever o incremento de árvores individuais livres e em competição de *Cordia Trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. O estudo das árvores livres de competição foi realizado na região Central do estado do Rio Grande do Sul, nas cidades de Santa Maria e Silveira Martins e as árvores sob concorrência foram mensuradas no Campo de Instrução do Ministério do Exército de Santa Maria – CISM e também em Silveira Martins. Para cada árvore livre e sob competição, foram numeradas as que possuíam dap igual ou superior a 5 cm, e medidas suas variáveis dendrométricas, morfométricas e qualitativas. Os dados de incremento dos últimos 4 anos foram obtidos pela análise de duas baguetas, coletados com a utilização do trado de Pressler. Para a determinação da concorrência entre as árvores na floresta, foi calculado o número de árvores por hectare baseados nas metodologias de Spurr, Bitterlich e Prodan. O louro-pardo quando cresceu livre de competição, apresentou diâmetro a altura do peito (dap), diâmetro de copa e índice de saliência semelhante ao que se desenvolveu em competição. Quando sob competição, esta espécie investiu mais em altura total, altura comercial, altura de início da copa, porém, apresentou menor comprimento de copa, percentagem de copa e índice de abrangência. Os louros quando cresceram livres de competição apresentaram incremento periódico anual em diâmetro (IPAd) e em área basal (IPAg) significativamente superiores quando comparados aos sob competição. O IPAg desta espécie livre de competição pode ser predito pelo dap, pelo fator de copa (fac) e densidade de copa (dec) a partir de dois modelos distintos sendo que o modelo que apresentou melhores ajustes foi: $IPAg = 0,6665 \cdot e^{0,0725 \cdot (fac \cdot dec)} \cdot dap$ pelo qual considera o fac e dec como variáveis discretas para determinar o coeficiente angular. O $IPAg$ do louro-pardo sob competição pode ser predito pela estimativa de incremento que ele atinge quando cresce livre de competição subtraído pela estimativa da diferença de incrementos entre os louros livres e sob competição: $IPAg = [(0,6665 \cdot e^{0,0725 \cdot (fac \cdot dec)} \cdot dap)] - [562,28 \cdot (N_{(GBit)})^{-0,585}]$. O modelo $\ln IPAg = 0,5456 \cdot \ln dap + 0,1412 \cdot (fac \cdot dec) - 0,00008905 \cdot N_{(GBit)}$ pelo qual não tem relação com o incremento das árvores livres também pode ser utilizado para a estimativa do incremento dos louros sob competição, com algumas vantagens em relação ao anterior.

Palavras-chave: Modelo. Incremento periódico anual. Copa. Competição.

ABSTRACT

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

MORPHOMETRY AND INCREMENT OF *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. IN CENTRAL REGION OF RIO GRANDE DO SUL

AUTHOR: ELISABETE VUADEN
ADVISER: Dr. FREDERICO DIMAS FLEIG
Date and Place of Defense: Santa Maria, February 26th, 2013.

This work aimed to evaluate the morphology and describe the growth of competing and free individual trees of *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. The study of free from competition trees was held in the Central region of the state of Rio Grande do Sul, in the cities of Santa Maria and Silveira Martins, and trees under competition were measured in the Campo de Instrução do Ministério do Exército of Santa Maria - CISM and also in Silveira Martins. Competing and free trees larger than 5 centimeters of dbh were numbered and its dendrometric, morphometric and qualitative were measured. The increment data of the last 4 years was obtained from two increment cores collected using Pressler borer. Competition between trees in the forest was calculated based on the number of trees per hectare obtained from the methodologies of Spurr, Bitterlich and Prodan. The louro-pardo trees growing free of competition, has diameter at breast height, crown diameter and the salience index similar to the developed under competition. Under competition, this species invests more in total height, commercial height and height of the crown, however, has less crown length, lower crown percentage and index scope. The louros growing free of competition have periodic annual diameter increment (IPA_d) and basal area (IPA_g) significantly higher than those under competition. The IPA_g this species of free of tree competition can be predicted by dbh, crown factor (fac) and crown density (dec) by two different models, but the model that best fits the data was: $IPA_g = 0.6665 \cdot dbh + 0.0725 \cdot (fac \cdot dec) \cdot dap$ and $IPA_g = 0.6665 \cdot dbh + 0.0725 \cdot (fac \cdot dec) \cdot dap - [562,28 \cdot (N_{(GBit)})^{-0,585}]$. The model $\ln IPA_g = 0,5456 \cdot \ln dap + 0,1412 \cdot (fac \cdot dec) - 0,00008905 \cdot N_{(GBit)}$ which has no relationship to the previous model can be used as well, to estimate the increment for louro-pardo under competition, with some advantages over the previous one.

Key words: Model. Periodic annual increment. Crown. Competition.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-------------|---|----|
| Figura 1 – | Localização das áreas de estudo dos louros sob concorrência. | 27 |
| Figura 2 – | Aspecto da floresta em estágio de regeneração localizada em Silveira Martins/RS..... | 28 |
| Figura 3 – | Aspecto de <i>Cordia trichotoma</i> sob competição na floresta (A) e livre (B). | 29 |
| Figura 4 – | Aspecto da tradagem de <i>Cordia trichotoma</i> | 31 |
| Figura 5 – | Representação esquemática do cálculo do número de árvores em relação a árvore central, de acordo com a metodologia proposta por Prodan (1965). | 36 |
| Figura 6 – | Ilustração dos valores médios das características dimensionais de <i>Cordia trichotoma</i> sob competição (A) e livre de competição (B) na região central do RS..... | 41 |
| Figura 7 – | Distribuição dos valores observados e estimados da relação entre o diâmetro de copa e o diâmetro à altura do peito para louros livres e em competição..... | 48 |
| Figura 8 – | Distribuição dos valores observados e estimados da relação hipsométrica para <i>Cordia trichotoma</i> livre e sob competição. | 52 |
| Figura 9 – | Distribuição dos valores observados da relação entre comprimento de copa e o diâmetro a altura do peito juntamente com as estimativas das equações para louros livres e sob competição. | 55 |
| Figura 10 – | Distribuição dos valores observados da relação entre grau de esbeltez e diâmetro a altura do peito, juntamente com as estimativas das equações para louros livres e sob competição..... | 57 |
| Figura 11 – | Incremento Periódico Anual em diâmetro para <i>Cordia trichotoma</i> sob competição e livres na região central de Santa Maria..... | 61 |
| Figura 12 – | Incremento Periódico Anual em área basal para <i>Cordia trichotoma</i> sob competição e livres na região central de Santa Maria. | 61 |
| Figura 13 – | Dispersão dos valores observados de Incremento Periódico Anual em área basal em função das características dendrométricas e morfométricas de louros sob competição e livres na região central de Santa Maria..... | 64 |
| Figura 14 – | Distribuição dos valores observados e estimados (A) e dos resíduos (B) do modelo $IPAg = 1,3468 \cdot dap$ para <i>Cordia trichotoma</i> livre de competição na região central do estado do Rio Grande do Sul. | 67 |
| Figura 15 – | Retas ajustadas para predição do incremento periódico anual em área basal em função do fator e densidade de copas para <i>Cordia trichotoma</i> livre de competição..... | 70 |
| Figura 16 – | Estimativa dos coeficientes angulares em função do fator e densidade de copa para louro-pardo livre de competição..... | 71 |

| | |
|--|----|
| Figura 17 – Distribuição dos valores observados e estimados (A) e dos resíduos (B) do modelo $IPA_g = 0,6665 \cdot e^{0,0775 \cdot (\text{fac} \cdot \text{dec})}$. dap para <i>Cordia trichotoma</i> livre de competição na região central do estado do Rio Grande do Sul. | 72 |
| Figura 18 – Distribuição dos valores observados e estimados (A) e dos resíduos (B) do modelo $IPAg = -15,7761 + 1,1690 \cdot \text{dap} + 2,4781 \cdot (\text{fac} \cdot \text{dec})$ para <i>Cordia trichotoma</i> livre de competição na região central do estado do Rio Grande do Sul. | 73 |
| Figura 19 – Distribuição dos valores observados e estimados pelos modelos sem transformação (A) e com transformação das variáveis(B) utilizados para descrever o incremento periódico anual em área basal de <i>Cordia trichotoma</i> sob competição. | 76 |
| Figura 20 – Distribuição dos resíduos das equações $IPAg = b_1 \cdot 0,5061$ (A) e $\ln IPAg = 0,7904 \cdot \ln \text{dap}$ (B) utilizadas para descrever o incremento periódico anual em área basal de <i>Cordia trichotoma</i> sob competição. | 77 |
| Figura 21 – Dispersão dos dados observados e estimados de Incremento Periódico Anual em área basal em função do diâmetro a altura do peito para <i>Cordia trichotoma</i> livre e sob competição. | 78 |
| Figura 22 – Estimativa dos coeficientes angulares em função do fator e densidade de copa para <i>Cordia trichotoma</i> sob competição. | 80 |
| Figura 23 – Distribuição dos valores observados e estimados (A) e dos resíduos (B) do modelo $IPA_g = 0,0911 \cdot (\text{fac} \cdot \text{dec})^{0,9605}$. dap para <i>Cordia trichotoma</i> sob competição na região central do estado do Rio Grande do Sul. | 81 |
| Figura 24 – Retas ajustadas para predição do incremento periódico anual em área basal em função do fator e densidade de copas para <i>Cordia trichotoma</i> livre de competição e sob competição*. | 82 |
| Figura 25 – Valores do número de árvores por hectare em relação ao incremento de <i>Cordia trichotoma</i> sob competição na região central do estado do Rio Grande do Sul. | 85 |
| Figura 26 – Valores observados de incremento periódico anual em área basal dos louros sob competição e valores estimados obtidos a partir do modelo $IPA_g = 0,6665 \cdot e^{0,0725 (\text{fac} \cdot \text{dec})}$. dap. | 86 |
| Figura 27 – Ajuste dos modelos e distribuição dos resíduos para a diferença de incremento periódico anual em área basal dos louros sob competição em função número de árvores por hectare calculados pela área basal obtida pelo método de Bitterlich (A; A.1) e de Spurr (B; B.1) respectivamente. | 88 |
| Figura 28 – Distribuição dos valores observados e estimados (A) e dos resíduos (B) do modelo $IPAg = [(0,6665 e^{0,0725 \cdot (\text{fac} \cdot \text{dec})} \cdot \text{dap})] - [562,28 \cdot (N_{(\text{Gbit})})^{-0,585}]$ para <i>Cordia trichotoma</i> sob competição na região central do estado do Rio Grande do Sul. | 89 |
| Figura 29 – Distribuição dos valores observados e estimados (A) e dos resíduos (B) do modelo $\ln IPAg = 0,5456 \cdot \ln \text{dap} + 0,1412 \cdot \text{fac} \cdot \text{dec} - 0,00008905 \cdot N_{(\text{Gbit})}$ para <i>Cordia trichotoma</i> sob competição na região central do estado do Rio Grande do Sul. | 90 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Espessura de casca estipulada conforme centro de classe diamétrica..... | 33 |
| Tabela 2 – Análise de variância juntamente com os valores médios, mínimos e máximos das variáveis dendrométricas e morfométricas de <i>Cordia trichotoma</i> sob competição e livres. | 43 |
| Tabela 3 – Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis dendrométricas e morfométricas de <i>Cordia trichotoma</i> sob competição. | 46 |
| Tabela 4 – Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis dendrométricas e morfométricas de <i>Cordia trichotoma</i> livre de competição..... | 46 |
| Tabela 5 – Análise de covariância do modelo $dc = b_0 + b_1 \cdot dap$ para verificar diferença de inclinação entre os louros na diferentes condições (sob competição e livres). | 49 |
| Tabela 6 – Análise de covariância do modelo $dc = b_0 + b_1 \cdot dap$ para verificar diferença de nível entre os louros nas diferentes condições (sob competição e livres). | 49 |
| Tabela 7 – Análise de covariância do modelo $\ln h = b_0 + b_1 \cdot \ln dap$ para verificar a diferença de inclinação entre os louros sob competição e livres..... | 53 |
| Tabela 8 – Análise de covariância do modelo $\ln h = b_0 + b_1 \cdot \ln dap$ para verificar a diferença de nível entre os louros sob competição e livres. | 53 |
| Tabela 9 – Análise de covariância do modelo $\sqrt{cc} = b_0 + b_1 \cdot dap$ para verificar a diferença de inclinação entre os louros sob competição e louros livres..... | 56 |
| Tabela 10 – Análise de covariância do modelo $\sqrt{cc} = b_0 + b_1 \cdot dap$ para verificar a diferença de nível entre os louros sob competição e louros livres. | 56 |
| Tabela 11 – Análise de covariância para verificar a diferença de inclinação entre os louros sob competição e louros livres do modelo $ge = b_0 + b_1 \cdot \ln dap$ | 58 |
| Tabela 12 – Análise de covariância verificar a diferença de nível entre os louros sob competição e louros livres do modelo $ge = b_0 + b_1 \cdot \ln dap$ | 58 |
| Tabela 13 – Análise de variância juntamente com os valores médios, mínimos e máximos de crescimento de <i>Cordia trichotoma</i> sob competição e livres..... | 60 |

| | |
|---|----|
| Tabela 14 – Correlação de Pearson do incremento com as variáveis dendrométricas, morfométricas e qualitativas de <i>Cordia trichotoma</i> sob competição e livres..... | 62 |
| Tabela 15 – Regressão pelo procedimento STEPWISE para descrever o incremento periódico anual em área basal dos louros livres..... | 66 |
| Tabela 16 – Análise de covariância do modelo $IPAg = b_1 \cdot dap$ para louro-pardo livre de competição em função do fator e densidade de copa. | 68 |
| Tabela 17 – Critérios estatísticos dos modelos para estimar o incremento periódico anual em área basal de <i>Cordia trichotoma</i> livre competição..... | 74 |
| Tabela 18 – Regressão pelo procedimento STEPWISE para descrever o incremento periódico anual em área basal dos louros sob competição..... | 75 |
| Tabela 19 – Estatísticas dos modelos de regressão obtidos para descrever o incremento periódico anual em área basal de louros sob competição..... | 75 |
| Tabela 20 – Análise de covariância da função $IPAg = b_1 \cdot dap$ para louro-pardo sob competição em função do fator e densidade de copa. | 79 |
| Tabela 21 – Critérios estatísticos do modelo $IPAg = 0,0911 \cdot (fac \cdot dec)^{0,9605} \cdot dap$ para <i>Cordia trichotoma</i> sob competição..... | 81 |
| Tabela 22 – Correlação de Pearson do número de árvores por hectare com as variáveis dendrométricas, morfométricas e qualitativas de <i>Cordia trichotoma</i> sob competição. | 84 |
| Tabela 23 – Correlação de Pearson dos diferentes números de árvores por hectare com a diferença de incremento periódico anual em área basal..... | 87 |
| Tabela 24 – Critérios estatísticos dos modelos para estimar o incremento periódico anual em área basal de <i>Cordia trichotoma</i> sob competição..... | 91 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1 Objetivos | 16 |
| 1.1.1 Objetivo geral..... | 16 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 18 |
| 2.1 Caracterização da espécie | 18 |
| 2.2 Árvores livres de concorrência | 19 |
| 2.3 Crescimento | 21 |
| 2.4 Densidade | 24 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS | 27 |
| 3.1 Caracterização dos locais de estudo | 27 |
| 3.2 Estudo inicial | 29 |
| 3.2.1 Coleta de dados..... | 29 |
| 3.2.2 Avaliação do crescimento | 31 |
| 3.2.3 Densidade..... | 33 |
| 3.3 Estudo complementar | 37 |
| 3.4 Análise dos dados | 37 |
| 3.4.1 Análise de variância..... | 38 |
| 3.4.2 Análise de correlação | 38 |
| 3.4.3 Análise de regressão múltipla | 38 |
| 3.4.4 Análise de covariância | 40 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 41 |
| 4.1 Características dendrométricas e morfométricas de <i>Cordia trichotoma</i> | 41 |
| 4.1.1 Análise de correlação | 45 |
| 4.1.2 Relação entre diâmetro de copa (dc) e diâmetro a altura do peito (dap) | 47 |
| 4.1.3 Relação entre altura total (h) e diâmetro a altura do peito (dap)..... | 51 |
| 4.1.4 Relação entre comprimento de copa (cc) e diâmetro a altura do peito (dap) . | 54 |
| 4.1.5 Relação entre grau de esbeltez (ge) e diâmetro a altura do peito (dap) | 57 |
| 4.2 Incremento e sua relação com as variáveis dimensionais | 59 |
| 4.3 Modelos de incremento para <i>Cordia trichotoma</i> livre de competição | 65 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 4.3.1 | Modelo de incremento para <i>Cordia trichotoma</i> livre de competição em função do diâmetro à altura do peito | 65 |
| 4.3.2 | Modelos de incremento para <i>Cordia trichotoma</i> livre de competição em função do dap e das características qualitativas da copa | 68 |
| 4.4 | Modelos de incremento para <i>Cordia trichotoma</i> sob competição | 74 |
| 4.4.1 | Modelo de incremento para <i>Cordia trichotoma</i> sob competição em função do diâmetro à altura do peito | 74 |
| 4.4.2 | Modelos de incremento para <i>Cordia trichotoma</i> sob competição em função do dap, das características qualitativas da copa e de competição | 78 |
| 5 | CONCLUSÕES..... | 93 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 96 |

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma extensa área de florestas nativas, no entanto, o maior foco produtivo está voltado às espécies exóticas de rápido crescimento, por suprirem a grande demanda de madeira, para as quais já existe uma gama de informações e conhecimento científico e por haver uma legislação ambiental bastante rígida com intuito de proteger as florestas naturais. Em contrapartida, as pesquisas referentes ao crescimento de árvores singulares, mais especificamente as nativas euxilóforas, ainda são escassas, contudo, são imprescindíveis para o manejo de florestas nativas ou para reflorestamentos com interesses econômicos.

A legislação florestal, apesar de sua importância no contexto sócio-ambiental, desestimulou a atividade florestal produtiva no Rio Grande do Sul, tornando as florestas nativas em pequenas propriedades abandonadas e muitas vezes consideradas como empecilho para as demais atividades. No entanto, é interessante pensar no manejo sustentável de florestas naturais como uma alternativa econômica, principalmente quando estas ocupam terrenos declivosos e com condições edáficas precárias, sendo inadequados para as atividades agrícolas, visto que as florestas gaúchas abrangem numerosas espécies de alto valor comercial e rápido crescimento, destacando entre estas o louro-pardo.

O louro-pardo (*Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud.) é sem dúvida uma das espécies mais promissoras e com maiores possibilidades para ser empregada no reflorestamento com espécies nativas (REITZ et al., 1983). Planta pioneira, importante para a regeneração de áreas degradadas ou para expansão de florestas (BACKES; IRGANG, 2002). Possui ampla dispersão geográfica, sua distribuição é uniforme, porém ocorre com maior frequência nas matas abertas e nos capões dos campos situados na Depressão do estado do Rio Grande do Sul (REITZ et al., 1983).

A madeira desta espécie é apreciada nos mercados interno e externo, devido à facilidade de produzir peças envergadas e aos excelentes atributos estéticos e decorativos. É utilizada ainda na fabricação de móveis de luxo, lâminas fraqueadas e lambris, e na construção civil (CARVALHO, 2003). Além da madeira ser de primeira qualidade, o louro-pardo apresenta reprodução bastante fácil e crescimento rápido,

portanto, é ideal para o plantio como espécie madeireira que, após 20 anos, já pode ser serrada (BACKES; IRGANG, 2002).

O conhecimento do crescimento presente e futuro de árvores individuais são de suma importância para o manejo florestal sustentável, sendo necessária a obtenção de informações sobre a existência de relações quantitativas e modelos matemáticos que sejam consistentes e numericamente compatíveis para a predição do desenvolvimento de uma determinada espécie.

Sendo assim, a descrição das características dimensionais, qualitativas e suas relações com o incremento de árvores singulares de *Cordia trichotoma* que crescem livres e em competição com outras espécies são elementares para elaboração de modelos de crescimento. Estes modelos podem prever o desenvolvimento desta espécie sob essas duas condições (livres e sob competição), fornecendo com isso, informações que servem como instrumento prático para seu adequado manejo, visto que, o louro-pardo é uma espécie nativa de alto potencial de utilização e de grande importância do ponto de vista econômico.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho objetiva determinar a morfometria e descrever o incremento de árvores individuais livres e em competição de *Cordia trichotoma* na região central do Rio Grande do Sul.

1.1.2 Objetivos específicos

a) Avaliar e relacionar as características dendrométricas e morfométricas do louro-pardo livre e sob competição;

- b) Quantificar e comparar o incremento das árvores livres e sob competição e relacionar com suas variáveis dimensionais;
- c) Modelar o incremento em área basal dos louros livres e sob competição a partir de suas características dimensionais;
- d) Modelar o incremento em área basal dos louros livres de competição a partir de suas características dimensionais e qualitativas da copa;
- e) Gerar e comparar modelos para prever o incremento periódico anual em área basal dos louros sob competição a partir das suas características dimensionais, qualitativas da copa e de competição.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Caracterização da espécie

Boraginaceae é uma família de plantas de regiões tropicais, sub-tropicais e temperadas. Compreende mais de duas mil espécies, distribuídas em cerca de 100 gêneros que abrangem, principalmente, plantas arbóreas, arbustivas e herbáceas. *Cordia* é um dos gêneros mais importantes das boragináceas, com cerca de 250 espécies. Seu nome é uma homenagem a um dos primeiros botânicos alemães do século XVI, Valerius Cordus (CARVALHO, 1988).

O louro-pardo (*Cordia trichotoma*) é uma espécie de ampla distribuição geográfica, ocorrendo desde o nordeste até o sul do Brasil, no nordeste da Argentina, leste do Paraguai e sul da Bolívia (REITZ et al., 1988; CARVALHO, 2003). Esta espécie é uma das árvores mais típica e bastante comum no Rio Grande do Sul, sobretudo na região das Florestas do Alto Uruguai (REITZ et al., 1983).

Árvore decidual, de 25 até 35 metros de altura e de até 100 cm de diâmetro na altura do peito. O tronco é caracterizado como sendo geralmente bastante reto e cilíndrico, fuste comprido de dez a quinze metros, casca cinza-clara com sulcos longitudinais, lembrando os do cedro, porém mais delicados e mais numerosos (REITZ et. al. 1983). Espécie heliófila, quando jovem suporta meia sombra, sendo considerada secundária com tendência a pioneira. As árvores de louro são medianamente tolerantes ao frio, sofrendo principalmente com geadas tardias (CARVALHO, 1994).

Floresce nos meses de fevereiro a abril, quando aparecem abundantes flores brancas formando grandes e densas inflorescências; a maturação dos frutos ocorre de maio a julho, quando devem ser colhidas as sementes (REITZ et al., 1988). A semente apresenta dormência tegumentar e comportamento recalcitrante ao armazenamento, podendo perder a viabilidade aos 60 dias. O percentual de germinação é irregular, variando entre 14% e 80% (CARVALHO, 2003; MENDONÇA et al., 2001).

A madeira desta espécie integra o grupo das madeiras de lei, sendo muito apreciada para móveis e revestimentos. É fácil de trabalhar, polir e entalhar. Dela se fabricam molduras, cadeiras e revestimentos múltiplos na decoração de interiores. Sua utilização em tornearia permite a obtenção de peças valiosas e na construção de embarcações encontra importante e vasta aplicação (REITZ et al., 1983).

Segundo o mesmo autor, as características silviculturais mais importantes são: o rápido crescimento inicial, facilidade de regenerar-se, especialmente em lugares desflorestados ou degradados pela agricultura e fuste sem tendência de ramificar-se no sentido lateral.

Carvalho (1994) afirma que na Argentina o crescimento desta espécie é considerado rápido, sendo estimada para uma população de cem indivíduos por hectare uma produção volumétrica de até 23 m³/ha/ano com casca aos 13 anos de idade. Já no Brasil, o mesmo autor considera o crescimento da espécie lento a moderado.

O conhecimento dos aspectos silviculturais do louro-pardo ainda é deficitário, sendo que pontos importantes ainda a solucionar já citados por Carvalho (1988) são os aspectos da heterogeneidade de crescimento dos indivíduos plantados, identificação de procedências mais produtivas e o controle de tingídeos, que retardam o desenvolvimento.

2.2 Árvores livres de concorrência

Quando uma árvore cresce de forma isolada (solitária), não recebendo nenhum tipo de concorrência, seja aérea (pela luz) ou subterrânea (pelos nutrientes e água), esta pode ser considerada livre de concorrência (DURLO et al., 2004).

De acordo com os mesmos autores, quando se busca a sustentabilidade de produção, conhecer o ritmo de crescimento volumétrico expresso pelo incremento em altura e diâmetro como também as modificações da copa das árvores livres de concorrência, é conhecimento importante no manejo das florestas e povoamentos florestais.

Segundo Abetz e Ohnemus (1994 apud DURLO et al. 2004), 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 a qual está submetida, bem como possibilita 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.

Para Durlo et al. (2004), as formas e dimensões da copa das árvores livres são balizas determinantes para o seu manejo, quando essas 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 outras, curtas, porém recobrimo áreas maiores, sendo que essas formas podem sofrer modificações com o passar do tempo. Sendo assim, as intervenções no povoamento, visando à melhoria do incremento dos indivíduos de maior valor, não podem, portanto, prescindir do conhecimento das exigências de espaço vital das diferentes espécies, ao longo do tempo.

Atualmente, dada a possibilidade de criação de modelos de concorrência e de crescimento, pela obtenção destas a partir de árvores solitárias, as variáveis de forma e dimensões das árvores, as relações morfométricas e suas respectivas modificações com o tempo adquirem ainda maior importância, (HASENAUER, 1994; HASENAUER et al., 1995; PRETZSCH, 1995).

Segundo Durlo et al. (2004), podem ser usados conceitos como altura-meta (DURLO; DENARDI, 1998) ou diâmetro-meta (DURLO; DENARDI, 1998) das árvores-futuro, à medida que se tem conhecimento de suas relações interdimensionais, servindo como indicativo de intervenções silviculturais, visto que fica possível antever o número adequado de árvores por unidade de área, à medida que o povoamento cresce, liberando-as.

Sobre os estudos relacionados às árvores livres de competição, muitos deles estão direcionados para as formas e dimensões de suas copas e suas modificações, pois nesse compartimento busca-se a possibilidade de criação de modelos matemáticos que caracterizem a concorrência, especialmente os que utilizam o conceito de diâmetro e copa potencial (HASENAUER, 1994; VANCLAY, 1994) e, a partir desse, modelar funções que expressem o crescimento de povoamentos florestais (DURLO, 1996; DURLO; DENARDI, 1998; DURLO et al., 2000; DELLA-FLORA, 2001).

2.3 Crescimento

O crescimento da árvore é o resultado da modificação e acréscimo das diversas variáveis dendrométricas: diâmetro à altura do peito, altura total, altura da base da copa, perfil do tronco, volume total e parcial, etc, podendo ser expresso para árvores individuais ou povoamentos (SCOLFORO, 1994).

Para Husch et al. (1982), o crescimento das árvores consiste na alongação e aumento da espessura das raízes, troncos e galhos provocando mudanças em termos de tamanho e forma. A atividade do meristema primário resulta no crescimento linear (alongação) de todas as partes da árvore, já a atividade do meristema secundário ou câmbio, resulta no crescimento em diâmetro (aumento da espessura).

O processo fisiológico responsável pelo crescimento da planta é muito importante, no entanto, o conhecimento de quais fatores (água, luz, temperatura, nutrientes) que afetam diretamente esse processo e como eles atuam no comportamento da planta é necessário, para efetuar o seu correto manejo.

A luz, afeta diretamente o crescimento da árvore, por meio de sua intensidade, qualidade e duração, sendo sua intensidade o fator mais importante para o silvicultor como também mais fácil de controlar (SCHNEIDER; SCHNEIDER 2008).

Aranda (2003) afirma que, em geral, a árvore cresce primeiro em altura e depois em diâmetro. Este crescimento é influenciado principalmente pelo espaçamento e pelos mesmos fatores apresentados para a altura. Este crescimento não é igual ao longo de todo o tronco da árvore, e para avaliá-lo emprega-se, geralmente, a variável dap (diâmetro à altura do peito) no início e no fim do período requerido.

Schneider e Schneider (2008) salientam que o crescimento em diâmetro da árvore individual é normalmente afetado pela densidade, sendo com isso, diretamente afetado pelos desbastes. O crescimento diametral determina o grau de aproveitamento da madeira, sendo por isso, muito importante para o silvicultor. Os autores afirmam ainda que, somente as árvores que tenham sido restringidas pela competição respondem ao desbaste com o aumento do crescimento em diâmetro,

sendo as dominantes, que vão se desenvolvendo mais em altura e tamanho de copa, as últimas a sofrerem as consequências do aumento da densidade.

Segundo Burger (1976), os mesmos fatores que favorecem o crescimento do diâmetro também favorecem o crescimento da área basal. No entanto, o incremento da área basal é diferente do incremento do diâmetro, isto porque o incremento da área basal depende de dois fatores: do incremento do diâmetro e, da área basal ou diâmetro no início do ano

O crescimento pode ser expresso, de forma individual, para uma árvore, ou para um povoamento, correlacionado com a idade, sempre se referindo ao acréscimo nas dimensões (diâmetro, altura, área basal e volume). A curva ideal de crescimento mostra um aumento progressivo e uma diminuição depois de um ponto de inflexão, estando ligado ao incremento matematicamente (SPATHELF; NUTTO, 2000).

Para Finger (1992), ocorrem três fases distintas de crescimento numa planta, o período inicial ou juvenil, sendo aquele onde o crescimento é lento, mas constante, o segundo período denominado de maturidade ou pleno vigor, onde o crescimento se processa mais acelerado e, o último período é o de senescência, onde o crescimento é lento, com diminuição gradativa. Schneider (1986) salienta que, a variável altura é mais importante durante a fase jovem da planta, enquanto o diâmetro é até a madurez, sendo que, durante a maior parte do ciclo, o efeito do crescimento diametral é maior.

Pode-se conhecer o crescimento de uma espécie por meio de sua modelagem. De acordo com Campos e Leite (2009), existem diversos tipos de modelos capazes de prever o crescimento e a produção, como os modelos por classe de diâmetro, os modelos de árvores individuais e os modelos em nível de povoamento, sendo o último o mais estudado e empregado no gerenciamento florestal no Brasil.

Os modelos de crescimento são de vital importância para o planejamento da produção florestal, pois a partir destes, se pode prever o crescimento e rendimento de sítios locais para criar uma condição prévia para planejar a administração de florestas em qualquer nível. Portanto, há necessidade de se conhecerem as técnicas de modelagem do crescimento e as suas limitações (GARCIA, 1988). Para Sanquetta (1996), os modelos apresentam limitações por não serem o próprio objeto

ou a entidade, mas uma simplificação ou representação, não sendo, portanto, perfeitos, podendo ser apenas uma representação bem-feita ou não da realidade.

Segundo Durlo (1996), para determinarmos o crescimento e o incremento de espécies que compõem as florestas inequidâneas e de múltiplas espécies, devemos lançar mão de técnicas de modelagem de crescimento considerando as árvores de forma individual, pois cada espécie apresenta um conjunto de características singulares, como: ritmo de crescimento, necessidades por nutrientes, luz e espaço para crescimento, em um período de desenvolvimento bem mais longo quando comparado a uma floresta pura.

Della-Flora (2001) afirma que, nesses modelos, não é mais o povoamento a unidade de prognose, mas sim cada árvore individual do povoamento. Sendo assim, as informações usuais da tabela de produção, podem ser prognosticadas pelo somatório dos incrementos das árvores individuais. Embora mais complexos, os modelos de árvores individuais têm como vantagem o detalhamento da estrutura do povoamento sendo potencialmente aplicáveis para as florestas naturais, além de permitirem a análise de aspectos fisiológicos e de coexistência.

Em razão da grande diversidade que as florestas nativas possuem, têm-se pouco conhecimento sobre elas, dificultando a tomada de decisões adequadas (intervenções necessárias) buscando a otimização da atividade florestal sem o conhecimento de cada uma das espécies que as compõem. Sendo assim, é imprescindível conhecer o crescimento de cada espécie componente dessas florestas e, assim, com o tempo, passar a conhecê-las no todo, pois não se consegue manejá-las e nem se fazer um planejamento da produção futura com êxito em razão da falta de informações sobre o crescimento individual de cada uma de suas espécies componentes (DELLA-FLORA et al., 2004).

O primeiro modelo simulador de árvore singular, segundo Hasenauer (1994), foi desenvolvido por Newhan, no ano de 1964, para povoamentos puros. A partir de então, surgiram novos trabalhos de modelagem, orientados na árvore singular (Vanclay, Pretzsch, Monserud e Sterba, Hasenauer, Moser e Eckmüllner, conforme mencionados por Durlo (1996).

A modelagem do incremento de *Cordia trichotoma* foi desenvolvida por Durlo (1996), Einspieler (2002); Scheeren et al. (2002) e Mattos (2007). Estes autores utilizaram modelos em que as variáveis independentes foram as características

dimensionais das árvores e outros utilizaram além destas, os índices de concorrência e aspectos do sítio.

Quanto às variáveis dependentes, ambos os incrementos em diâmetro e área basal podem ser usados nos modelos de incremento. West (1980) afirmou que a precisão e estimativa do diâmetro futuro é a mesma, quando equações de crescimento em diâmetro ou área basal são usadas. Opie (1968) e Moore et al. (1973) optaram por modelar o incremento em área basal, justificando o uso do mesmo por ser a área basal mais diretamente relacionada com o volume. Mattos (2007), Della-Flora (2001), Della-Flora et al. (2004), Vaccaro et al. (2003) estudando Florestas Nativas no Rio grande do Sul, também usaram o incremento em área basal como variável dependente nos modelos de incremento.

2.4 Densidade

Densidade de um povoamento florestal é o grau de aproveitamento do solo pelas árvores, podendo ser expresso em termos de área basal, volume, número de árvores e/ou superfície das copas por unidade de superfície, estando implícito o nível de utilização dos fatores de crescimento locais das árvores como: água, luz, nutrientes e CO₂ (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008).

Para Selle e Vuaden (2009), definida pelo espaçamento entre as plantas, a densidade ou o espaçamento 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 em questão.

Um dos principais objetivos do manejo é conduzir a produção do povoamento almejando o máximo aproveitamento da capacidade do sítio e que as árvores tenham condições de alcançar as dimensões desejadas. As árvores não aproveitam ao todo os nutrientes, água e luz disponíveis naquele local, se a densidade de um povoamento for baixa, não produzindo ao máximo. No entanto, se a densidade do povoamento for muito alta, a quantidade disponível de nutrientes, água e luz não são suficientes para que as árvores tenham um bom desenvolvimento (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008).

Kramer e Kolowski (1960) salientam que, em povoamentos florestais de alta densidade, as árvores estão em constante competição pelo espaço aéreo e pelo espaço no solo e, as que conseguirão uma maior atividade fisiológica serão as que superarão os indivíduos menos vigorosos. Aliado a isso, Scheeren et al. (2003) corrobora que, à medida que as árvores se desenvolvem, suas copas e raízes necessitam gradativamente de um maior espaço para continuarem a crescer e, em caso do espaço ser restrito, instala-se o processo de concorrência entre os indivíduos tendo a necessidade de haver alguma intervenção silvicultural.

No processo de desenvolvimento de um povoamento, à medida que cada árvore cresce, ela necessita de mais espaço para que sua copa possa se desenvolver. A taxa de crescimento em diâmetro será determinada pelo espaço de crescimento de que a árvore dispõe. Em um povoamento, o espaço de cada árvore pode ser limitado pelas árvores vizinhas, levando a competição ao nível das copas e ao nível das raízes (HILEY, 1959). Em vista disso, Spiecker (1981) afirma que a copa das árvores é influenciada pela competição, 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. Sendo assim, a competição afeta o crescimento, pois há uma relação entre a ocupação horizontal da árvore com a sua dimensão e volume (SCHNEIDER, 2002).

Wimberly e Bare (1996) salientam que nos modelos de crescimento de árvores individuais, o grau de competição de uma árvore é descrito por medidas de competição dependentes e independentes da distância. Os índices independentes da distância diferem dos dependentes por utilizarem medidas não-espaciais, baseadas na distribuição do tamanho das árvores em uma determinada área. Já nos índices dependentes da distância, os competidores são identificados baseados em seu tamanho e distância em relação a uma árvore objetivo.

Dentre os índices de densidade pontual, o mais conhecido é o de Spurr (1962). Neste índice de competição, todas as árvores incluídas em uma amostra de contagem angular (ACA) com centro na árvore objetivo são consideradas competidoras, sendo que, o número de competidores depende do fator de área basal utilizado. Para o autor, essa técnica é baseada nos mesmos princípios do método de Bitterlich, porém mais precisa, pois o tamanho e a posição relativa de cada árvore contribuem para a área basal da estimativa mais que simplesmente o número de indivíduos que excedem um ângulo limite. A precisão deste método

justifica o seu uso em relação ao de Bitterlich, utilizado para investigações entre relações de crescimento e densidade.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização dos locais de estudo

O estudo das árvores solitárias ou livres de competição de *Cordia trichotoma* foi realizado na região Central do estado do Rio Grande do Sul, nas cidades de Santa Maria e Silveira Martins e as árvores sob competição foram mensuradas no Campo de Instrução do Ministério do Exército de Santa Maria – CISM (locais I e II) e também em Silveira Martins (local III), como pode ser observado na Figura 1.

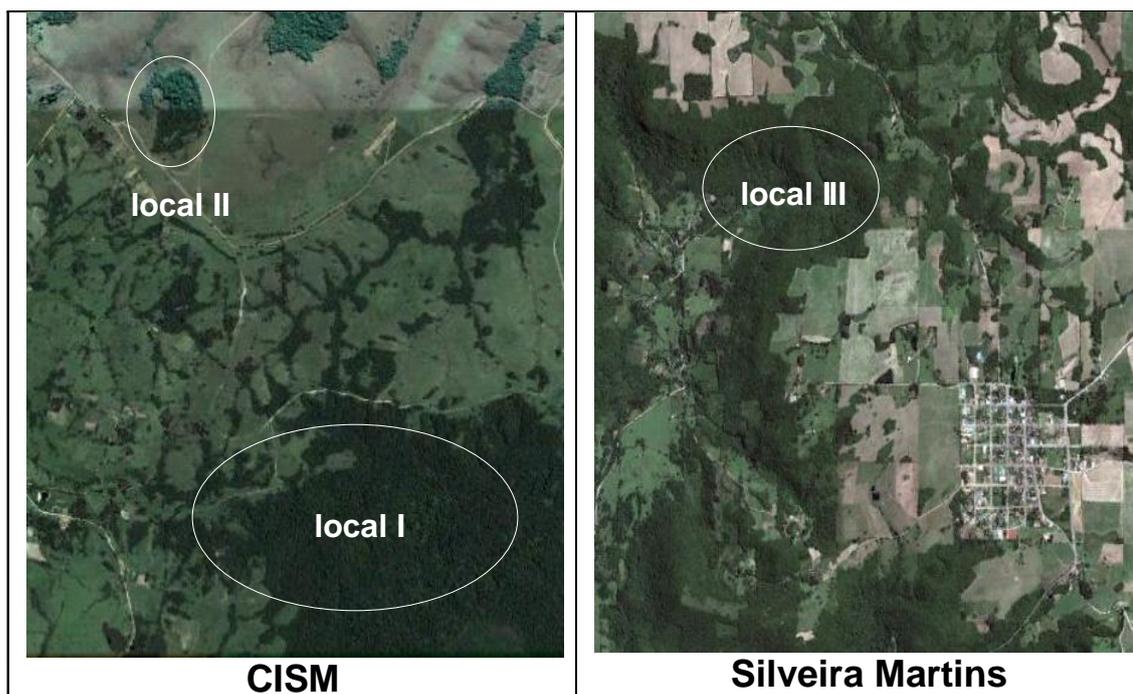


Figura 1 – Localização das áreas de estudo dos louros sob concorrência.

Fonte: GOOGLE EARTH, 2012.

Os locais I e II caracterizam-se por apresentarem floresta natural que não sofreu qualquer intervenção nos últimos 40 anos, após a passagem de sua posse para o Ministério do Exército, tendo aproximadamente 560 ha de floresta formada por árvores de grande porte.

Já o local III, situado na região conhecida como “Casca da do Mezzomo”, na localidade de Val Feltrina, município de Silveira Martins/RS, apresenta floresta em estágio de regeneração (Figura 2). A vegetação primitiva da região é caracterizada por uma Floresta Estacional Decidual com ocorrência natural de louro-pardo (REITZ et al.,1983).



Figura 2 – Aspecto da floresta em estágio de regeneração localizada em Silveira Martins/RS.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo “Cfa”, subtropical úmido, tendo como características climáticas principais a temperatura média anual de 19°C e precipitação média anual de 1769 mm (MORENO, 1961).

As principais classes de solo da região pertencem à Unidade de Mapeamento Santa Maria, denominado Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico úmbrico e Argissolo Amarelo Alítico típico, originados de siltitos e arenito (STRECK et al., 2008).

3.2 Estudo inicial

3.2.1 Coleta de dados

O levantamento dos dados foi realizado de março a julho de 2010, onde foram selecionadas árvores sob competição (Figura 3 - A) e árvores livres de competição (Figura 3 - B), por um processo inteiramente aleatório, considerando dap mínimo de 5 cm e a partir de cada árvore individual foram medidas as suas variáveis dendrométricas e morfométricas.

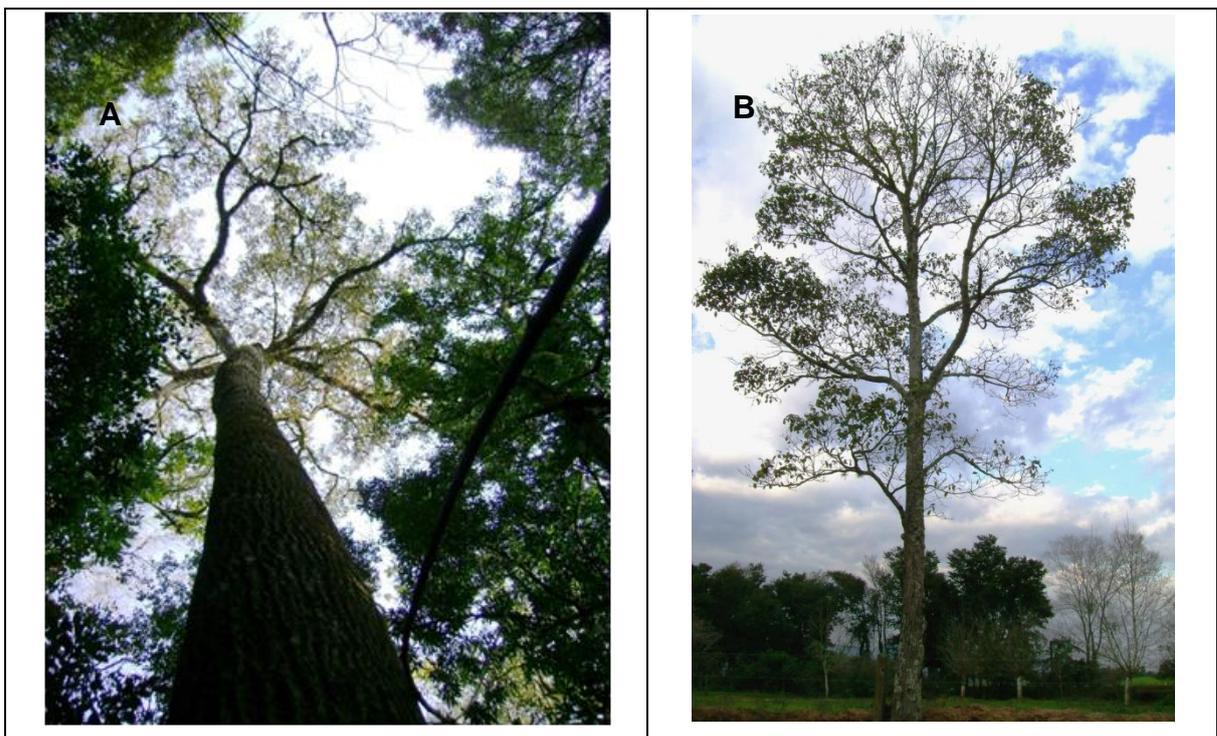


Figura 3 – Aspecto de *Cordia trichotoma* sob competição na floresta (A) e livre (B).

Quanto aos louros sob competição, foram mensurados indivíduos pertencentes a 9 classes de diâmetro, variando de 5 a 50 cm, com intervalo de classes de 5 cm, totalizando 90 árvores. Já os livres de competição, devido à dificuldade de encontrar louros solitários na região, foram medidos apenas 28 indivíduos, entre 5 e 60 cm de dap.

3.2.1.1 Variáveis dendrométricas mensuradas

Para cada árvore individual foram medidas as seguintes variáveis dendrométricas:

- a) Circunferência à altura do peito (cap): medida com fita métrica, em centímetros, a 1,3 m acima da superfície do solo;
- b) Altura do início da copa (hic): medida com hipsômetro Vertex, em metros, considerando a distância do solo até o ponto de inserção da copa;
- c) Altura comercial (hc): medida com hipsômetro Vertex, em metros, considerando a distância do solo até o primeiro galho;
- d) Altura total (h): medida com hipsômetro Vertex, em metros;
- e) Raio da copa (rc): medidos com auxílio do hipsômetro Vertex e com uma bússola, na posição norte e nos demais pontos cardeais (NE, L, SE, S, SO, O e NO), sendo que o raio da copa da árvore correspondeu à média aritmética dos oito raios medidos, em metros;

3.2.1.2 Variáveis morfométricas mensuradas

Para descrever as relações interdimensionais das árvores, foram medidas as seguintes variáveis morfométricas:

- a) Diâmetro de copa (dc): obtido pela multiplicação do raio da copa em metros por dois ($2 \cdot rc$);
- b) Grau de esbeltez (ge): calculado pela razão entre a altura total da árvores e o diâmetro à altura do peito (h/dap);
- c) Comprimento de copa (cc): obtido pela diferença entre a altura total (h) e altura de início da copa ($h - hic$) em metros;
- d) Proporção de copa (%) ou percentagem de copa (pc): obtido pela relação entre o comprimento da copa e a altura total da árvore ($(cc/h) \cdot 100$);
- e) Índice de saliência (is): é a razão entre o diâmetro da copa e o diâmetro à altura do peito (dc/dap);

f) Índice de abrangência (ia): é a razão entre o diâmetro da copa e à altura total (dc/h);

g) Formas de copa (fc): é a razão entre o diâmetro da copa (dc) e o comprimento de copa (dc/cc).

3.2.2 Avaliação do crescimento

Para a obtenção dos dados de crescimento, em todas as árvores avaliadas, foi utilizado o trado de incremento (Trado de Pressler), para a medição do crescimento dos últimos 4 anos a partir da árvore em pé. Foram retiradas duas baguetas de lenho em cada tronco, formando um ângulo de 45° em relação ao maior diâmetro, a uma altura de aproximadamente 0,30 m do solo (Figura 4), buscando não comprometer o valor da madeira do fuste das árvores.



Figura 4 – Aspecto da tradagem de *Cordia trichotoma*.

Após coletadas, as baguetas foram devidamente identificadas, acondicionadas em canudos plásticos e posteriormente levadas até o Laboratório de Manejo Florestal, onde foram fixadas com cola PVA e amarradas em canaletas de madeira para que, durante a secagem ao ar livre, não ocorresse o seu empenamento. Após secas, as baguetas foram lixadas para melhor visualização dos anéis de crescimento.

Os incrementos de cada anel de crescimento foram medidos com precisão de 0,01 mm pelo sistema “LINTAB” utilizando o software TSAP.

A contagem dos anéis de crescimento foi realizada entre os anos de 2005 e 2010, no sentido da casca para a medula. O primeiro anel foi datado como correspondente ao ano de 2008, isto significa que o anel iniciou o seu crescimento em 2008 e cessou o seu desenvolvimento em 2009. Como todas as árvores foram tratadas de março até julho de 2010, supõe-se que o crescimento iniciado em 2009 não havia ainda cessado o seu desenvolvimento na época de coleta em todas as amostras, assim, o incremento deste ano não foi utilizado para a estimativa do crescimento periódico, no entanto, foi utilizado para calcular o diâmetro sem casca das árvores no ano de 2009 (equação 1). Considerou-se também que a espessura dos anéis de crescimento, obtidos das baguetas coletadas a 0,30 cm do solo, fossem iguais aos de 1,30 m do solo.

$$dap_{sc2009} = dap_{2010} - (2 \cdot ec + IPAd_{2009}) \quad (1)$$

Onde: dap_{sc} = diâmetro a altura do peito sem casca do ano de 2009; d_{2010} = diâmetro a altura do peito do ano de 2010; ec = espessura de casca; $IPAd$ = incremento correspondente ao ano de 2010.

Devido à dificuldade de recolher o material do trado durante a retirada da bagueta, a espessura de casca não foi calculada. Contudo, foram estipulados os valores (Tabela 1), baseados em Carvalho (2003), de que o máximo de espessura de casca encontrado para esta espécie foi 35 mm.

Tabela 1 – Espessura de casca estipulada conforme centro de classe diamétrica.

| Classe de dap | cc | Esp.(mm) |
|----------------------|-----------|-----------------|
| 60,1 - 65 | 62,5 | 35 |
| 55,1 - 60 | 57,5 | 32 |
| 50,1 - 55 | 52,5 | 29 |
| 45,1 - 50 | 47,5 | 27 |
| 40,1 - 45 | 42,5 | 24 |
| 35,1 - 40 | 37,5 | 21 |
| 30,1 - 35 | 32,5 | 18 |
| 25,1 - 30 | 27,5 | 15 |
| 20,1 - 25 | 22,5 | 13 |
| 15,1 - 20 | 17,5 | 10 |
| 10,1 - 15 | 12,5 | 7 |
| 5-10 | 7,5 | 4 |

Em que: dap: diâmetro a altura do peito; cc: centro de classe; Esp: espessura de casca.

O incremento periódico anual em área basal foi obtido pela equação 2.

$$IPAg = \pi [((dap_{sc})^2 - (dap_{sc} - 2 \cdot inc_n)^2) / 4n] \quad (2)$$

Sendo: IPAg = incremento anual em área basal; n = anos analisados; dap_{sc} = diâmetro a altura do peito sem casca; inc_n = incremento radial dos últimos n anos analisados.

3.2.3 Densidade

Para a determinação da concorrência que havia entre o louro-pardo com outras espécies na floresta, foi utilizada a metodologia apresentada por Spurr, denominada de Densidade Pontual, em que é utilizado um ângulo fixo e pré-determinado, como no método de Bitterlich.

Por esse método, todas as árvores cujo dap fosse maior ou igual a um ângulo pré-definido (Fator de área basal – FAB), foram incluídas como componentes da densidade pontual a que a árvore amostra (central) estava submetida. No caso do presente estudo, foi utilizado FAB=2. A distância de inclusão da árvore em análise com base no seu dap foi calculada pela equação 3:

$$L = \frac{0,5.dap}{\sqrt{FAB}} \quad (3)$$

Onde: L = distância calculada em função do dap da árvore vizinha para verificar a inclusão ou não na unidade amostral; dap = diâmetro à altura do peito da árvore com suspeita de ser concorrente; FAB = fator de área basal utilizado na amostragem.

A ordem de inclusão das árvores competidoras na parcela foi realizada por meio de um ranqueamento entre o diâmetro da árvore em análise e a distância desta até a árvore central. Com isso, quanto maior fosse 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, foi encontrado um ângulo, que forma a primeira área de amostragem e com isso se fez a primeira estimativa de área basal. Prosseguindo, o segundo ângulo encontrado para a segunda árvore, com a formação da segunda área de amostragem e partindo desta é feita a segunda estimativa de área basal. Assim, repetiu-se o processo até que todas as árvores competidoras fossem incluídas na parcela. A estimativa final da área basal passa ser a média das estimativas individuais (equação 4).

$$G_{pontual} = \sum_{i=1}^n \left[\left(i - \frac{1}{2} \right) \cdot \left(0,25 \cdot \left(\frac{D_i}{L_i} \right)^2 \right) \right] \quad (4)$$

Onde: G = área basal por hectare estimada no ponto de amostragem; i = número da árvore por ordem de classificação na unidade amostral; Di = diâmetro da árvore competidora; Li = distância da árvore competidora até a árvore central.

O número de árvores por hectare baseado na densidade pontual de Spurr foi obtido a partir da relação entre a área basal por hectare no ponto de amostragem (equação 4) pela área basal da árvore central, como pode ser verificado na equação 5:

$$N/ha_{(GSp)} = \frac{G_{pontual}}{g_i} \quad (5)$$

Onde: N/ha_(GSp) = número de árvores por hectare calculado pela densidade pontual de Spurr; G_{pontual} = área basal por hectare estimada no ponto de amostragem; g_i = área basal da árvore central da parcela de Spurr.

Também foi utilizado um método semelhante à equação 5 para o cálculo do número de árvores por hectare, no entanto, a área basal estimada no ponto de amostragem, expressa em m²/ha foi determinada com base no método de Bitterlich, multiplicando-se o fator de área basal pelo respectivo número de árvores contadas na parcela (equação 6).

$$G_{(Bit)} = FAB \cdot n \quad (6)$$

Onde: $G_{(Bit)}$ = área basal estimada no ponto de amostragem; FAB = fator de área basal; n = número de árvores contadas na parcela.

Com isso, o número de árvores por hectare calculado pela área basal obtida pelo método de Bitterlich foi expresso pela relação entre a área basal por hectare no ponto de amostragem e a área basal da árvore central (equação 7).

$$N/ha_{(GBit)} = \frac{G_{(Bit)}}{g_i} \quad (7)$$

Onde: $N/ha_{(GBit)}$ = número de árvores por hectare calculado pela área calculada por Bitterlich; $G_{(Bit)}$ = área basal por hectare estimada no ponto de amostragem; g_i = área basal da árvore central da parcela.

Outra forma a ser empregada para o cálculo do número de árvores por hectare foi pelo método de Bitterlich, resultante da multiplicação do somatório do inverso das áreas basais das árvores incluídas na unidade amostral pelo Fator de Área Basal (FAB), conforme demonstrado na Equação 8:

$$N/ha_{(Bit)} = FAB \cdot \frac{1}{g_i} \quad (8)$$

Onde: $N/ha_{(Bit)}$ = número de árvores por hectare calculado por Bitterlich; g_i = área basal da i-ésima árvore medida na unidade amostral.

Para determinação do número de árvores pelo método de Prodan, foi realizado um ranqueamento de cada árvore competidora de acordo com sua distância em relação à árvore central. Para tal, ordenaram-se as árvores competidoras em ordem crescente de distância, sendo que o círculo da árvore mais perto da árvore central (a_1) representou $(1 + \frac{1}{2})$ árvores; o círculo da árvore com distância a_2 representou $(2 + \frac{1}{2})$ e assim sucessivamente até a última árvore (a_i)

competidora, sendo que esta árvore apresentou a maior distância em relação à árvore central (Figura 5).

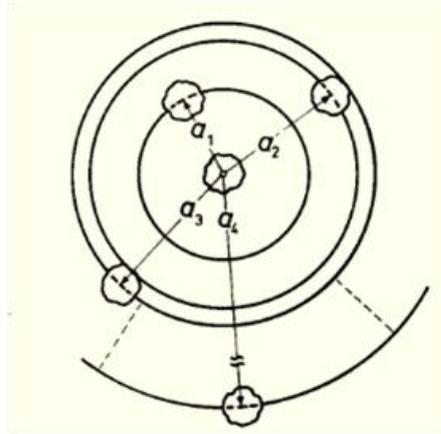


Figura 5 – Representação esquemática do cálculo do número de árvores em relação a árvore central, de acordo com a metodologia proposta por Prodan (1965).

Fonte: Prodan (1965).

O número de árvores N_i que cada círculo representou foi calculado de acordo com a Equação 9:

$$N_i = \frac{10000}{\pi \cdot a_i^2} \cdot i + \frac{1}{2} \quad (9)$$

Onde: N_i = número de árvores representado pelo círculo formado pela distância a_i ; a_i = distância da árvore competidora em relação à árvore central; i = número do ranking da árvore competidora.

O número de árvores por hectare pelo método de Prodan foi obtido pela Equação 10:

$$N/ha_{(Pr)} = \frac{\sum N_i}{i} \quad (10)$$

Onde: $N/ha_{(Pr)}$ = número de árvores por hectare obtido pelo método de Prodan; $\sum N_i$ = somatório do número de árvores representado por cada círculo de distância a_i ; i = número de árvores competidoras.

3.3 Estudo complementar

Com intuito de determinar outras variáveis para explicar o incremento periódico anual em área basal, já que a única variável dimensional (dap) que entrou nos modelos não foi capaz de descrever a variação de incremento para um mesmo diâmetro, em maio de 2012, retornou-se em todas as árvores livres e sob competição avaliadas no estudo inicial, para que, em cada uma destas, fossem avaliadas as seguintes características qualitativas:

a) Fator de copa (fac): fator determinado visualmente pelo desconto percentual das falhas existentes na forma da copa. Foram consideradas quatro classes de fatores em função dos descontos determinados. Para descontos superiores a 75% fator 1, fator 2 para descontos de 50 a 75%, entre 25 e 50% fator 3 e para descontos inferiores a 25% fator 4.

b) Densidade de copa (dec): para cada árvore analisada foi atribuído uma nota que variou de 1 a 4 para o grau de densidade de folhas na copa. A nota 4 correspondeu a copa com máxima densidade de folhas, ou seja, copa fechada e a nota 1 correspondeu a copa translúcida a qualquer altura, ou seja, copa rala que se conseguia visualizar de um lado para outro. As notas intermediárias variaram dentro destas referências.

c) Presença de cipós: classificação visual, onde foi atribuído nota 1 para presença de cipós tanto no fuste quanto na copa e nota 2 para ausência ou pouca quantidade de cipós.

É interessante salientar que, apesar do louro-pardo ser uma espécie decídua (REITZ et. al. 1983), no período da avaliação das variáveis qualitativas, as árvores ainda apresentavam folhas em suas copas.

3.4 Análise dos dados

As análises dos dados foram realizadas com o auxílio de planilha eletrônica e o software Statistical Analysis System (SAS), versão 9.1 (SAS Institute Inc., 1999).

3.4.1 Análise de variância

Foram realizadas análises de variância para averiguar o efeito da condição (livre e sob competição) nas características dendrométricas, morfométricas e no incremento do louro-pardo. As diferenças estatísticas entre as médias foram determinadas a 1 e 5% de probabilidade de erro.

3.4.2 Análise de correlação

Foram estabelecidas correlações de Pearson entre todas as variáveis dendrométricas, morfométricas, de crescimento e qualitativas para os louros livres de competição. Para os louros sob competição, além destas variáveis, foi adicionado os números de árvores por hectare (N/ha) calculados por diferentes métodos. Considerou-se significâncias de 1 e 5 % de probabilidade de erro.

3.4.3 Análise de regressão múltipla

Para a elaboração dos modelos que descrevem as relações entre o diâmetro a altura do peito (dap) com o diâmetro de copa (dc), altura total (h), grau de esbeltez (ge) e comprimento de copa (cc) foram realizadas análises de regressão múltipla, usando o método STEPWISE. A seleção do modelo de regressão foi realizada observando-se o coeficiente de variação (CV%), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), valor de F e avaliação da distribuição dos valores estimados com os observados. Os testes de condicionantes da regressão foram realizados utilizando o procedimento MODEL com a opção NORMAL, WHITE, DW e DWPROB para um nível de significância de 95% de probabilidade de confiança.

Os modelos que predizem o incremento periódico anual (IPA_g) em área basal foram construídos por meio da análise de regressão com o procedimento STEPWISE e análise de covariância, tendo como variáveis dependentes

selecionadas o dap, o fator de copa (fac) e densidade de copa (dec) para as árvores livres de competição. Já para as árvores sob competição, além dessas variáveis foi adicionado aos modelos o número de árvores por hectare calculado pela área basal obtida pelo método de Bitterlich ($N/ha_{(GBit)}$).

Após a obtenção dos modelos de Incremento Periódico Anual em área basal para *Cordia trichotoma*, foram calculadas estatísticas que representassem o ajuste dos mesmos. Para isso, foi verificada a distribuição gráfica dos valores observados a campo e os valores estimados pelo modelo. Também foi observada a distribuição gráfica, em um sistema de eixos ortogonais, dos resíduos em função dos valores estimados das variáveis dependentes para a verificação do ajuste da equação em toda a amplitude dos dados observados.

Para a comparação dos modelos de Incremento Periódico Anual em área basal, além da distribuição gráfica, foi calculado as seguintes estatísticas expostas por Schneider et al. (2009):

Tendência Absoluta (Bias):

$$BIAS = \frac{(y - y_i)}{n} \quad (10)$$

Onde: y = valor observado; y_i = valor estimado; n = número de observações.

Eficiência (E):

$$E = 1 - \frac{\sum (y - y_i)^2}{\sum (y - \bar{y})^2} \quad (11)$$

Onde: y = valor observado; y_i = valor estimado; \bar{y} = valor médio; n = número de observações.

Desvio Padrão Residual (S):

$$S = \sqrt{\frac{\sum (y - y_i)^2}{n - 1}} \quad (12)$$

Onde: y = valor observado; y_i = valor estimado; n = número de observações.

3.4.4 Análise de covariância

A análise de covariância foi aplicada para verificar a diferença de nível e tendência dos modelos utilizados para descrever o diâmetro de copa, a altura total, comprimento de copa e o grau de esbeltez entre os louros livres e sob competição. Com isso, verificou-se a necessidade ou não do uso de funções independentes, indicando assim a existência ou não de diferentes padrões de comportamento.

Também realizou-se análise de covariância para as modelos utilizados para prever o incremento com intuito de verificar a diferença de tendência de crescimento entre os diferentes fatores e densidades de copa. A inclinação e o nível das curvas foram verificados utilizando o procedimento GLM do software SAS Institute Inc.(1999), com significância de 1%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características dendrométricas e morfométricas de *Cordia trichotoma*

Os louros, quando cresceram sob competição com outras espécies, apresentaram algumas características dimensionais semelhantes aos que se desenvolveram de forma isolada, ou seja, livre de competição, como por exemplo, o diâmetro a altura do peito (dap) e o diâmetro de copa (dc), no entanto, observa-se nitidamente pela Figura 6, que, quando sob competição, esta espécie investiu mais em altura total (h), altura comercial (hc), altura de início da copa (hic), porém, apresentou menor comprimento de copa (cc).

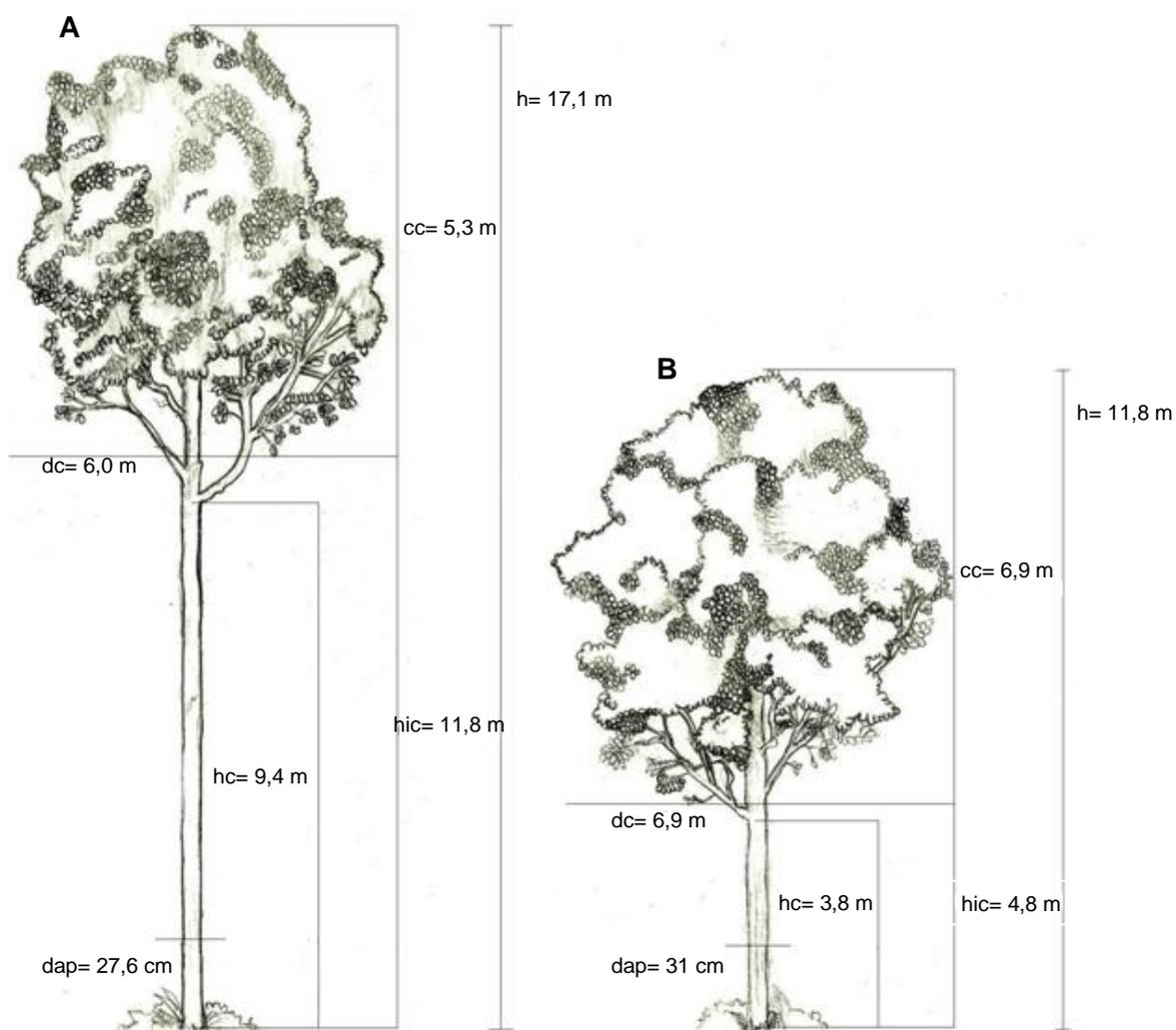


Figura 6 – Ilustração dos valores médios das características dimensionais de *Cordia trichotoma* sob competição (A) e livre de competição (B) na região central do RS.

A análise de variância apresentada pela Tabela 2 mostrou que não há diferença estatística entre os valores médios de diâmetro à altura do peito dos louros livres quando comparados aos louros sob competição (diferença de 12,32%), com valor de F não significativo a 1% de probabilidade de erro. No entanto, além do diâmetro a altura do peito, é de se esperar que, as árvores quando crescem isoladas, expandam horizontalmente suas copas de forma mais intensa do que quando se desenvolvem em uma floresta nativa, pois nesta última, há influência da concorrência interespecífica, evitando a expansão lateral dos galhos. Porém, como pode ser verificado na Tabela 2, isto não ocorreu, já que o diâmetro de copa e a área de projeção de copa dos louros sob competição e livres demonstraram em média, serem semelhantes estatisticamente.

Cabe ressaltar que, quanto mais denso for o povoamento, menor é a relação dc/dap , no entanto, isto não ocorreu, pois o índice de saliência que representa esta relação foi o mesmo para as duas condições (sob competição e livres). Este fato pode estar relacionado à localização da maior parte das árvores no estrato emergente da floresta, tendo com isso espaço suficientemente disponível para o desenvolvimento lateral de suas copas, e por isso, apresentando para este índice, o mesmo comportamento que as árvores livres de competição. Observa-se também que a espécie apresentou em média, um diâmetro de copa 23 vezes maior quando comparada ao diâmetro à altura do peito, sendo que, o conhecimento desta relação (dc/dap), possibilita a determinação do número máximo de árvores por hectare, quando certo diâmetro ou certa distribuição de diâmetros é desejada.

Para a mesma espécie e amplitude diamétrica, em uma Floresta Estacional Decidual no Vale Vêneto/RS, Mattos (2007) encontrou um índice de saliência menor, equivalente a 19,82. Já Roman et al. (2009), também para a mesma espécie, porém com um intervalo de diâmetro menor (7,9 - 30,8 cm) encontrou valor superior, igual a 24,7, em um plantio no município de Santa Maria. Dawkins (1963 apud WADSWORTH, 2000) afirmou que, em florestas naturais tropicais este índice varia entre 14 a 28, estando esses estudos, equiparando-se ao observado neste. Para o mesmo autor, as espécies de maior crescimento volumétrico apresentam valores entre 15 e 20, já os valores superiores a 25 caracterizam-se por serem espécies de crescimento lento.

Tabela 2 – Análise de variância juntamente com os valores médios, mínimos e máximos das variáveis dendrométricas e morfométricas de *Cordia trichotoma* sob competição e livres.

| Variáveis | FV | Média | Min. | Máx. | F | Prob.> F |
|----------------------|--------|-------|------|-------|--------|----------|
| dap (cm) | Comp. | 27,6 | 6,0 | 50,0 | 1,42 | 0,2354 |
| | Livres | 31,0 | 7,3 | 58,9 | | |
| h (m) | Comp. | 17,1 | 7,0 | 26,9 | 27,95 | <0,0001 |
| | Livres | 11,8 | 4,7 | 21,9 | | |
| dc (m) | Comp. | 6,0 | 1,6 | 12,7 | 2,35 | 0,1284 |
| | Livres | 6,9 | 1,9 | 12,6 | | |
| ac (m ²) | Comp. | 34,7 | 1,9 | 125,7 | 2,46 | 0,1196 |
| | Livres | 44,9 | 2,8 | 123,7 | | |
| hic (m) | Comp. | 11,8 | 5,2 | 20,1 | 92,77 | <0,0001 |
| | Livres | 4,8 | 1,8 | 12,0 | | |
| hc (m) | Comp. | 9,4 | 2,5 | 17,2 | 73,54 | <0,0001 |
| | Livres | 3,8 | 1,7 | 10,5 | | |
| cc (m) | Comp. | 5,3 | 1,1 | 13,2 | 8,75 | 0,0037 |
| | Livres | 6,9 | 2,4 | 14,2 | | |
| ge | Comp. | 0,72 | 0,36 | 1,59 | 36,80 | <0,0001 |
| | Livres | 0,42 | 0,23 | 0,72 | | |
| pc (%) | Comp. | 30,8 | 9,52 | 58,6 | 167,39 | <0,0001 |
| | Livres | 59,8 | 30,6 | 74,3 | | |
| is | Conc. | 0,23 | 0,13 | 0,38 | 0,03 | 0,8737 |
| | Livres | 0,23 | 0,15 | 0,30 | | |
| ia | Conc. | 0,35 | 0,15 | 0,72 | 75,37 | <0,0001 |
| | Livres | 0,59 | 0,30 | 0,92 | | |
| fc | Conc. | 1,19 | 0,42 | 2,26 | 5,37 | 0,0222 |
| | Livres | 1,00 | 0,40 | 1,79 | | |

Em que: dap = diâmetro a altura do peito (cm); h = altura total (m); dc = diâmetro de copa (m); ac= área de projeção de copa; hic = altura do início da copa (m); hc = altura comercial (m); cc = comprimento de copa [cc = h-hic] (m); ge = grau de esbeltez [h/dap]; pc = proporção de copa [cc/h] (%); is = índice de saliência [dc/dap]; ia = índice de abrangência [dc/h]; fc = formal de copa [dc/cc]; FV = fonte de variação; F = valor de F calculado para a variável dependente; Prob.>F = nível de probabilidade de erro.

Embora os louros sob competição não diferissem estatisticamente em diâmetro à altura do peito, diâmetro de copa, área de projeção de copa e índice de saliência dos louros livres de competição, em contrapartida, quando avaliados em altura, demonstraram ser significativamente diferentes, ou seja, mais altos.

Schneider e Schneider (2008) afirmaram que, sob condições de intensa competição relacionada com excesso de densidade, as árvores sacrificam o crescimento diametral em favor do crescimento longitudinal. Como a maioria dos louros sob competição deste estudo se encontravam no estrato dominante, a maior concorrência não era por espaço, pois estes não apresentaram diferença significativa em diâmetro de copa e área de projeção de copa com os louros livres, e

sim, provavelmente por água e nutrientes. Os mesmos autores ressaltam que, as árvores dominantes, que vão se desenvolvendo mais em altura e tamanho de copa, serão as últimas a sofrerem as consequências do aumento da densidade.

Apesar da semelhança entre o espaço horizontal médio ocupado pelas copas das árvores livres e sob competição, o valor do comprimento de copa diferiu para estas duas condições, sendo que os louros quando livres de competição, investiram mais no alongamento de suas copas e conseqüentemente em menor desrama natural, resultando em um comprimento de copa, em média, 1,3 m maior quando comparado com os louros sob competição (Tabela 2). Sobre isso Sterba (2006) afirma que, a pressão lateral exercida pelas demais árvores do povoamento é o principal fator que promove a redução do comprimento de copa. Sendo assim, pode-se inferir que, no presente estudo, a competição não exerce influência sobre o diâmetro de copa, e sim sobre o seu comprimento.

Os louros que se encontravam sob competição apresentaram maior altura de inserção da copa e altura comercial quando comparados com os livres, como é possível ser observado na Tabela 2. Os valores de altura de inserção da copa indicam que, se esta espécie for manejada com desrama, há possibilidade de se obter até 10 toras comercializáveis de 2 m de comprimento, com uma média de 6 toras comercializáveis por fuste.

Roman et al. (2009) encontraram valores menores de altura comercial para louro-pardo, quando comparado ao presente estudo, variando de 3 a 9 m, com média de 5,9 metros. Mattos (2007), também encontrou altura comercial média menor, equivalente a 6,9 m para esta mesma espécie.

Cabe destacar que as árvores livres apresentaram proporção de copa 30% maior quando comparadas com as sob competição (Tabela 2). Verifica-se também na mesma tabela, uma maior amplitude de variação da proporção de copa para os louros sob competição. Isso ocorreu, possivelmente, devido aos diferentes graus de concorrência que os mesmos estavam submetidos, pois, de acordo com Sterba (2006), este índice depende da espécie, idade e da densidade. O autor afirmou ainda que, em geral, as árvores heliófilas têm, quando em povoamentos florestais, copas curtas em comparação às árvores de sombra, devido ao sombreamento e filtragem da luz solar para as partes inferiores da copa pela parte superior. A partir de uma quantidade mínima de luz, a qual varia com a espécie, as partes inferiores começarão a serem eliminadas.

Quanto ao grau de esbeltez, verifica-se pela Tabela 2, que os louros sob concorrência apresentaram maior instabilidade, ou seja, um grau de esbeltez médio significativamente maior quando comparados aos livres. Esta instabilidade é ocasionada pela concorrência, repercutindo na formação de árvores mais alongadas e finas.

O índice de abrangência apresentou diferença significativa entre as árvores sob competição e livres (Tabela 2). Este índice indica a necessidade de espaço vital das árvores com o aumento da idade e altura, podendo a partir deste, construir linhas de diretrizes de desbastes.

O formal de copa apresentou diferença significativa apenas ao nível de 5% de probabilidade de erro entre as árvores nas diferentes condições, conforme evidenciado pela Tabela 2, onde os louros sob concorrência apresentaram copas mais achatadas e os livres mais esbeltas (relação dc/cc menor). Segundo Sterba (2006), este valor varia com a espécie e com a posição sociológica, sendo que copas estreitas e longas devem ser as preferidas, ou seja, desejadas, pois para cada m^2 de área de solo ocupada apresentam uma maior área de superfície de copa (manto de copa), podendo assim utilizar melhor o espaço vital disponível.

Estudando as relações morfométricas de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul, Durlo (2001) encontrou para a espécie valor médio de formal de copa menor que o encontrado no presente estudo, (0,74), porém, uma maior amplitude de variação (de 0,29 a 3,33).

4.1.1 Análise de correlação

Todas as variáveis dendrométricas e morfométricas avaliadas no estudo tiveram correlação significativa com diâmetro à altura do peito (Tabela 3) para os louros sob competição. Os louros livres, só não apresentaram correlação significativa com a proporção de copa, demonstrando que, quando o louro-pardo cresce livre de competição, a relação cc/h não varia conforme aumenta o seu diâmetro (Tabela 3).

Observando as Tabelas 3 e 4, verifica-se que, à medida que aumenta o crescimento diamétrico do fuste do louro-pardo, o diâmetro de copa, a altura total, a altura comercial, o comprimento de copa e o índice de abrangência também aumentam, gerando assim uma correlação positiva. Já com o grau de esbeltez e com o índice de saliência ocorre o contrário, resultando assim numa correlação negativa. Comportamentos semelhantes foram encontrados por Roman et al. (2009) para a mesma espécie e Durlo (2001) com *Cabraela canjerana*.

Tabela 3 – Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis dendrométricas e morfométricas de *Cordia trichotoma* sob competição.

| Var. | dap | dc | h | hic | hc | cc | ge | pc | is | ia |
|------|---------|----------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------|---------|--------|--------------------|-------|
| dap | - | | | | | | | | | |
| dc | 0,92* | - | | | | | | | | |
| h | 0,84* | 0,76* | - | | | | | | | |
| hic | 0,64* | 0,50* | 0,86* | - | | | | | | |
| hc | 0,51* | 0,39* | 0,72* | 0,86* | - | | | | | |
| cc | 0,70* | 0,75* | 0,70* | 0,25** | 0,16 ^{ns} | - | | | | |
| ge | - 0,85* | - 0,80* | -0,58* | -0,43* | - 0,35* | -0,50* | - | | | |
| pc | 0,30* | 0,43* | 0,16 ^{ns} | -0,34* | - 0,54* | 0,79* | -0,25** | - | | |
| is | - 0,38* | - 0,04 ^{ns} | -0,41* | -0,52* | - 0,44* | - 0,05 ^{ns} | 0,28* | 0,23** | - | |
| ia | 0,64* | 0,81* | 0,28* | 0,03 ^{ns} | -0,01 ^{ns} | 0,50* | -0,74* | 0,48* | 0,32* | - |
| fc | 0,26** | 0,28* | 0,11 ^{ns} | 0,39* | 0,31* | -0,33* | -0,38* | -0,57* | 0,06 ^{ns} | 0,37* |

Em que: dap= diâmetro a altura do peito (cm); dc=diâmetro de copa (m); h= altura total (m); hic: altura do início da copa (m); hc= altura comercial (m); cc= comprimento de copa(m); ge= grau de esbeltez; pc= proporção de copa; is= índice de saliência; ia= índice de abrangência; fc= formal de copa; * = significância a 1 %; ** = significância a 5%.

Tabela 4 – Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis dendrométricas e morfométricas de *Cordia trichotoma* livre de competição.

| Var. | dap | dc | h | hic | hc | cc | ge | pc | is | ia |
|------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------|
| dap | - | | | | | | | | | |
| dc | 0,93* | - | | | | | | | | |
| h | 0,80* | 0,74* | - | | | | | | | |
| hic | 0,51* | 0,42** | 0,77* | - | | | | | | |
| hc | 0,48* | 0,38** | 0,77* | 0,91* | - | | | | | |
| cc | 0,73* | 0,74* | 0,80* | 0,24 ^{ns} | 0,33 ^{ns} | - | | | | |
| ge | - 0,77* | - 0,73* | -0,34 ^{ns} | -0,14* | -0,09 ^{ns} | -0,38** | - | | | |
| pc | - 0,01 ^{ns} | 0,08 ^{ns} | 0,16 ^{ns} | -0,73* | -0,57* | 0,43** | -0,12 ^{ns} | - | | |
| is | - 0,34** | -0,03 ^{ns} | -0,31* | -0,34 ^{ns} | -0,36 ^{ns} | - 0,16 ^{ns} | 0,30 ^{ns} | 0,19 ^{ns} | - | |
| ia | 0,56* | 0,68* | 0,08 ^{ns} | -0,11 ^{ns} | -0,14 ^{ns} | 0,23 ^{ns} | -0,79* | 0,23 ^{ns} | 0,21 ^{ns} | - |
| fc | 0,53* | 0,56* | 0,21 ^{ns} | 0,42** | 0,27 ^{ns} | -0,07 ^{ns} | -0,65* | -0,45** | 0,03 ^{ns} | 0,71* |

Em que: dap= diâmetro a altura do peito (cm); dc= diâmetro de copa (m); h= altura total (m); hic= altura do início da copa (m); hc= altura comercial (m); cc=comprimento de copa(m); ge= grau de esbeltez; pc= porcentagem de copa; is= índice de saliência; ia= índice de abrangência; fc= formal de copa; * = significância a 5 %; ** = significância a 1%.

A maior correlação do diâmetro à altura do peito ocorreu com o diâmetro de copa, após com a altura total, comprimento de copa e com o grau de esbeltez para as duas condições analisadas (livres e sob competição), sendo todas estas correlações, acima de 70%. U.S. Forest Service (1970) também encontrou alta correlação entre o diâmetro de copa e diâmetro à altura do peito para o carvalho, nos Estados Unidos, salientando que esta relação é altamente significativa e independe da idade, da espécie, da classe de copa e do local onde se encontram as árvores ou povoamentos.

Sendo assim, devido à alta correlação do diâmetro à altura do peito com o diâmetro de copa, altura total, comprimento de copa e grau de esbeltez, realizou-se um estudo mais aprofundado destas relações, a fim de verificar como estas variáveis refletem no desenvolvimento do louro-pardo isolado e em concorrência com outras espécies.

4.1.2 Relação entre diâmetro de copa (dc) e diâmetro a altura do peito (dap)

Ao realizar uma análise gráfica dos valores observados do diâmetro de copa em relação ao diâmetro à altura do peito dos louros livres e sob competição, verificou-se que, apesar dos louros livres não estarem recebendo nenhum tipo de concorrência, seja aérea (pela luz) ou subterrânea (pelos nutrientes e água), apresentaram diâmetros de copa semelhantes aos louros sob competição, como pode ser observado na Figura 7. Devido à esta semelhança, ajustou-se um único modelo ($dc = 0,6159 + 0,1990 \cdot dap$), com valor de $R^2_{aj} = 0,86$ e $CV = 17,1\%$, para descrever a relação entre o diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito dos louros livres e sob competição.

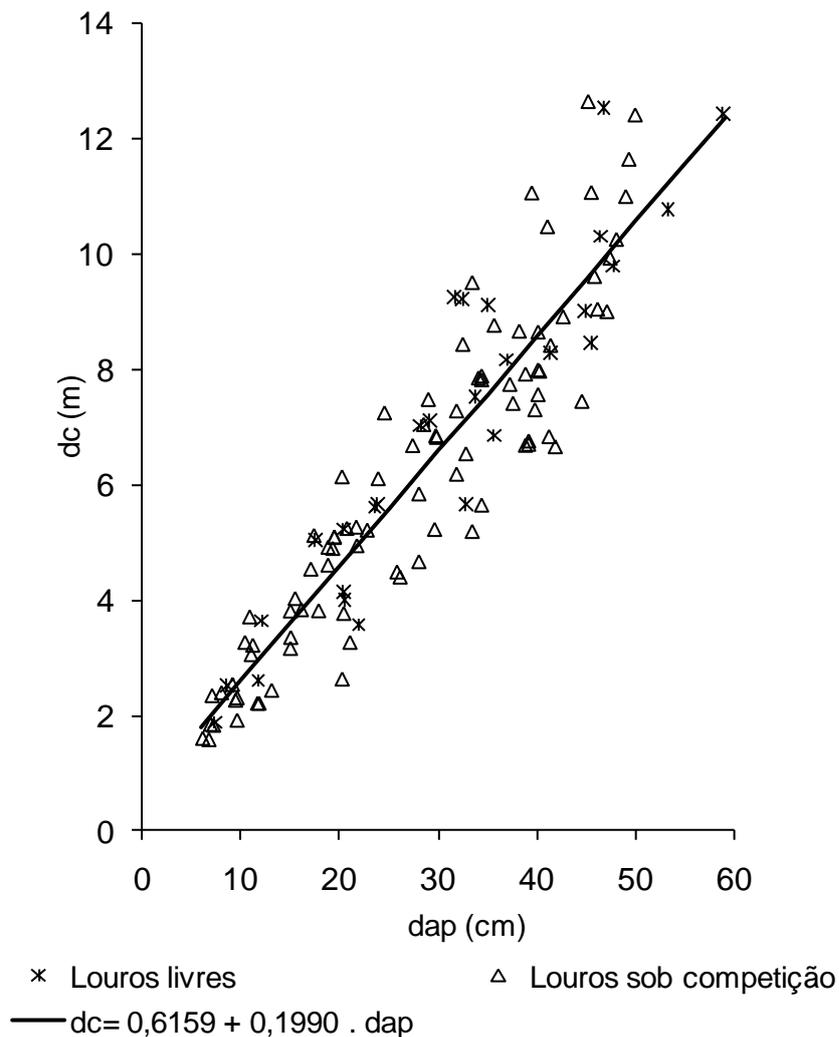


Figura 7 – Distribuição dos valores observados e estimados da relação entre o diâmetro de copa e o diâmetro à altura do peito para louros livres e em competição.

Com a finalidade de comprovar estatisticamente que não há realmente diferença de tendência e nível desta relação (dc x dap) entre os louros livres e sob competição, realizou-se uma análise de covariância (Tabela 5), em que esta resultou num valor de $F = 0,02$ para a interação, não significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro, indicando não haver diferença de tendência do modelo que descreve a relação entre o diâmetro de copa e o diâmetro à altura do peito dos louros nas duas condições.

O modelo sem interação (Tabela 6) que descreve a relação entre o diâmetro de copa e o diâmetro a altura do peito dos louros livres e sob competição,

demonstrou também não haver diferença de nível, com valor de F não significativo a 1% de probabilidade de erro para a condição.

Tabela 5 – Análise de covariância do modelo $dc = b_0 + b_1 \cdot dap$ para verificar diferença de inclinação entre os louros na diferentes condições (sob competição e livres).

| FV | GL | SQ | QM | F | Prob. > F |
|----------------|-----------|-----------|-----------|----------|---------------------|
| Modelo | 3 | 805,4228 | 268,4743 | 232,95 | <0,0001 |
| dap | 1 | 604,2583 | 604,2583 | 524,30 | <0,0001 |
| Condição | 1 | 0,1215 | 0,1215 | 0,11 | 0,7460 |
| dap x Condição | 1 | 0,0217 | 0,0217 | 0,02 | 0,8910 |
| Resíduo | 114 | 131,3858 | 1,15251 | | |
| Total | 117 | 936,8086 | | | |

Sendo: dc = diâmetro da copa (m); dap = diâmetro do fuste medido a 1,30 m do solo; 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.

Tabela 6 – Análise de covariância do modelo $dc = b_0 + b_1 \cdot dap$ para verificar diferença de nível entre os louros nas diferentes condições (sob competição e livres).

| FV | GL | SQ | QM | F | Prob. > F |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|---------------------|
| Modelo | 2 | 805,4010 | 402,7005 | 352,42 | <0,0001 |
| dap | 1 | 786,8889 | 786,8889 | 688,64 | <0,0001 |
| Condição | 1 | 1,4035 | 1,4035 | 1,23 | 0,2700 |
| Resíduo | 115 | 131,4075 | 1,1427 | | |
| Total | 117 | 936,8086 | | | |

Sendo: dc = diâmetro da copa (m); dap = diâmetro do fuste medido a 1,30 m do solo; 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.

Sendo assim, os resultados da análise de covariância confirmaram a possibilidade de utilização de um único modelo para descrever o diâmetro de copa em função do dap dos louros livres e sob competição, já que a reta que descreve esta relação possui mesmo nível e inclinação para essas duas condições.

Resultado semelhante foi obtido por Márquez-Linares e Alvarez-Zagoya (1995), comparando árvores de *Pinus cooperi* de três posições sociológicas em concorrência com árvores livres no México. Os autores observaram que as árvores situadas no dossel superior (dominantes) tiveram o mesmo comportamento das

árvores livres, no entanto, as livres manifestaram características especiais evidenciadas também no presente estudo como: elevada percentagem de copa, baixo grau de desrama natural e uma altura menor em relação com outros indivíduos de mesmo diâmetro.

Roman et al. (2009) estudando o louro-pardo encontrou para esta relação o seguinte modelo $dc = - 4,7560 + 3,1974 \cdot \ln dap$ (para indivíduos com até 35 cm de dap). Cabe inferir que, o modelo expressou uma tendência de crescimento diferente do presente estudo, pois a partir dos indivíduos com dap de 25 cm, os diâmetros de copa tenderam a ser menores que os encontrados neste trabalho.

Já Pereira (2011), estudando *Cedrela fissilis* também na região central do estado do Rio Grande do Sul, utilizou modelos sem intercepto para expressar esta relação, sendo o modelo $dc = 0,176 \cdot dap$ para Santa Maria e $dc = 0,200 \cdot dap$ para Silveira Martins.

O conhecimento da relação (dc/dap) das árvores livres de concorrência é de suma importância em práticas silviculturais, pois permite calcular o número de árvores por hectare a partir do diâmetro de copa, podendo com isso, calcular a linha de mínima densidade utilizada para confeccionar diagramas de manejo de densidade, já elaborados por alguns pesquisadores, dentre eles, destacam-se na região central do RS, Selle (2009), Thomas (2009) e Meyer (2011), em que os mesmos consideraram que a densidade expressa pelas árvores livres de concorrência descreveu o número de árvores mínimo que se pode obter no povoamento, porém com a máxima ocupação do dossel. Contudo, haja vista que o presente estudo demonstrou não haver diferença da relação do diâmetro de copa com o diâmetro à altura do peito dos louros livres e sob competição, impediria a confecção de um diagrama seguindo esta mesma metodologia.

Então, como a copa dos louros livres e sob competição é 23 vezes maior que o dap ($i_s=23$), para produzir louros com 25 cm de dap, e supondo que as copas são redondas, seria possível obter aproximadamente 385 árvores por hectare com copas de 5,7 m de diâmetro, sem que houvesse nenhuma concorrência entre elas. Já para produzir louros com 50 cm de dap, resultaria em 96 árvores por hectare, com copas de 11,5 m de diâmetro.

Observando o comportamento do diâmetro de copa do louro-pardo nos diferentes diâmetros à altura do peito, constatou-se que, as árvores que atingiram valores máximos de diâmetro de copa também possuíam maiores índices de

abrangência (dc/h) quando comparadas as árvores com menores diâmetros de copa, fato que pode ser comprovado pela correlação positiva e significativa entre o diâmetro de copa e índice de abrangência apresentada nas Tabelas 3 e 4. Então, pode-se inferir que, as taxas de crescimento em diâmetro de copa do louro-pardo livre e sob competição tenderam a superar as taxas de crescimento em altura dos mesmos. Durlo (2001) verificou resultado semelhante ao presente estudo ressaltando que, à medida que a árvore engrossa, o crescimento em altura das canjeranas é suficientemente pequeno ao ponto de resultar em um aumento do índice de abrangência.

4.1.3 Relação entre altura total (h) e diâmetro a altura do peito (dap)

Pela comparação gráfica, na Figura 8, das alturas totais em função do diâmetro à altura do peito do louro-pardo nas duas condições (livre e sob competição), observa-se que, para um mesmo diâmetro, as árvores sob competição investiram mais no crescimento em altura. Isto ocorreu muito provavelmente, por se tratar de uma espécie heliófila, tendendo a buscar maior luminosidade na sua copa quando está crescendo sob concorrência. Devido a essa visível diferença de altura, foi ajustada a equação de Stofels para descrever a relação hipsométrica dos louros sob competição: $\ln h = 1,1882 + 0,5033 \cdot \ln dap$, apresentando valores de $R^2_{aj} = 0,80$ e $CV = 5,1\%$ e para os louros livres de competição: $\ln h = 0,5013 + 0,5753 \cdot \ln dap$, com valores de $R^2_{aj} = 0,84$ e $CV = 7,7\%$.

Tabela 7 – Análise de covariância do modelo $\ln h = b_0 + b_1 \cdot \ln \text{dap}$ para verificar a diferença de inclinação entre os louros sob competição e livres.

| FV | GL | SQ | QM | F | Prob. > F |
|---|-----|---------|--------|--------|-----------|
| Modelo | 3 | 13,3825 | 4,4608 | 178,74 | <0,0001 |
| $\ln \text{dap}$ | 1 | 7,3242 | 7,3241 | 293,47 | <0,0001 |
| Condição | 1 | 0,2638 | 0,2638 | 10,57 | <0,0001 |
| $\ln \text{dap} \times \text{Condição}$ | 1 | 0,0302 | 0,0301 | 1,21 | 0,27 |
| Resíduo | 114 | 2,8451 | 0,0249 | | |
| Total | 117 | 16,2276 | | | |

Sendo: h = altura total; dap = diâmetro a altura do peito; 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.

Tabela 8 – Análise de covariância do modelo $\ln h = b_0 + b_1 \cdot \ln \text{dap}$ para verificar a diferença de nível entre os louros sob competição e livres.

| FV | GL | SQ | QM | F | Prob. > F |
|------------------|-----|----------|---------|--------|-----------|
| Modelo | 2 | 13,35232 | 6,6762 | 267,02 | <0,0001 |
| $\ln \text{dap}$ | 1 | 10,1949 | 10,1949 | 407,75 | <0,0001 |
| Condição | 1 | 4,3807 | 4,3807 | 175,21 | <0,0001 |
| Resíduo | 115 | 2,8753 | 0,0250 | | |
| Total | 117 | 16,2276 | | | |

Sendo: h = altura total; dap = diâmetro a altura do peito; 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.

A relação entre altura e o diâmetro seguiu tendência exponencial, sendo a curva mais íngreme quando as árvores eram mais jovens, tendendo a se estabilizar com o aumento da idade, neste caso, com o aumento do diâmetro (Figura 8).

Roman et al. (2009) para descrever a relação entre altura total e diâmetro a altura do peito para *Cordia trichotoma* e Mattos (2007), para *Cabraela canjerana*, *Cedrela fissilis* e *Cordia trichotoma*, também utilizaram equações logarítmicas, com a transformação apenas da variável independente.

Analisando o comportamento da variação das alturas entre os diferentes diâmetros dos louros nas duas condições, verificou-se que, os louros que atingiram as alturas máximas, possuíam também as variáveis morfométricas da copa menores quando comparado aos louros que possuíam as alturas mínimas, como menores índices de saliência, abrangência e formal de copa. Com isso, pode-se inferir que, o louro-pardo que se desenvolve na floresta juntamente com outros indivíduos ou de forma solitária, quando investe mais em crescimento em altura, para um mesmo

diâmetro à altura do peito, possui copa mais comprida e menos larga que o louro que cresce menos em altura.

Observando também as características dos louros livres que possuíram altura máxima e os louros sob competição que possuíam alturas mínimas (Figura 8), percebeu-se que, apesar das alturas serem semelhantes, os louros livres apresentaram comprimento e percentagem de copa maior, para a mesma classe de diâmetros.

4.1.4 Relação entre comprimento de copa (cc) e diâmetro a altura do peito (dap)

À medida que os louros engrossam, o comprimento de copa tende a aumentar, como pode ser verificado na Figura 9. Os louros que crescem solitários, apesar de possuírem diâmetros semelhantes com os que se encontram sob competição, possuem em média, comprimento de copa maior.

A partir da Figura 9, verifica-se realmente que parte dos louros sob competição tiveram comprimentos de copa bem próximos aos louros livres, no entanto, os demais louros sob competição, principalmente os que possuíam dap até 40 cm, apresentaram comprimentos de copa bem menores. Com isso, pode-se evidenciar que a velocidade da mortalidade do ramos na base da copa é bem maior quando esta espécie se encontra sob competição. Sobre isso, Finger (2005), salienta que, em geral, as espécies heliófilas apresentam, quando inseridas em um povoamento florestal, copas curtas, pois devido ao efeito de sombreamento e filtragem da luz solar, pela parte superior da copa, as partes inferiores, a partir de uma quantidade mínima de luz, a qual varia com a espécie, começam a ser eliminadas.

Sendo assim, foram ajustadas duas curvas para descrever a relação entre o comprimento de copa e o diâmetro à altura do peito para os louros livres ($\sqrt{cc} = 1,7318 + 0,0273 \cdot dap$) apresentando valores de $R^2_{aj} = 0,57$ e $CV = 12,7\%$ e para os louros sob competição ($\sqrt{cc} = 1,3900 + 0,0305 \cdot dap$) com $R^2_{aj} = 0,56$ e $CV = 15,7\%$ como pode ser visualizado na Figura 9.

Tabela 9 – Análise de covariância do modelo $\sqrt{cc} = b_0 + b_1 \cdot dap$ para verificar a diferença de inclinação entre os louros sob competição e louros livres.

| FV | GL | SQ | QM | F | Prob. > F |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|----------|---------------------|
| Modelo | 3 | 20,2713 | 6,7571 | 56,23 | <0,0001 |
| dap | 1 | 12,5802 | 12,5802 | 104,69 | <,0001 |
| Condição | 1 | 0,3954 | 0,3954 | 3,29 | 0,0723 |
| In dap x Condição | 1 | 0,0375 | 0,0375 | 0,31 | 0,5771 |
| Resíduo | 114 | 13,4582 | 0,1202 | | |
| Total | 117 | 33,7295 | | | |

Sendo: cc = comprimento de copa; dap = diâmetro a altura do peito; 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.

Tabela 10 – Análise de covariância do modelo $\sqrt{cc} = b_0 + b_1 \cdot dap$ para verificar a diferença de nível entre os louros sob competição e louros livres.

| FV | GL | SQ | QM | F | Prob. > F |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|---------------------|
| Modelo | 2 | 20,2337 | 10,1168 | 84,71 | <0,0001 |
| dap | 1 | 0,0297 | 0,0024 | 12,13 | <0,0001 |
| Condição | 1 | 1,9031 | 0,1626 | 11,70 | <0,0001 |
| Resíduo | 115 | 13,4959 | 0,1194 | | |
| Total | 117 | 33,7295 | | | |

Sendo: cc = comprimento de copa; dap = diâmetro a altura do peito; 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.

Observando conjuntamente as Figuras 9 e 10, e levando em consideração o mesmo diâmetro para as diferentes alturas totais e comprimentos de copa, percebe-se claramente que se tem maior aproveitamento do fuste em termos de comprimento dos louros quando estão sob competição, pois estes são mais altos, possuem maior altura comercial e conseqüentemente menor comprimento de copa quando comparados aos livres, como visto anteriormente na Tabela 2.

Cabe salientar que, sobre os louros sob competição, os indivíduos que apresentaram menores comprimentos de copa, tiveram características dendrométricas e morfométricas semelhantes aos demais, exceto para duas variáveis, apresentando maiores valores de formal de copa (dc/cc) e menores porcentagens de copa ($cc/ht*100$).

4.1.5 Relação entre grau de esbeltez (ge) e diâmetro a altura do peito (dap)

Os louros livres de competição apresentaram valores de grau de esbeltez bem menores que os louros sob competição, como pode ser observado na Figura 10, estando estes em um nível mais abaixo. A curva que descreve a relação (ge x dap) para louros livres de competição a partir da equação ajustada $ge = 1,0308 - 0,1841 \cdot \ln dap$, com $R^2_{aj} = 0,64$ e $CV = 17,8\%$, possui tendência achatada, indicando que à medida que se amplia a dimensão diamétrica dos louros livres, a altura tende a aumentar também, não havendo muita disparidade. Já para os louros sob competição, a curva representada pela equação $ge = 1,9179 - 0,3789 \cdot \ln dap$ ($R^2_{aj} = 0,79$ e $CV = 15,9\%$) é mais íngreme, principalmente até o diâmetro à altura do peito de 30 cm, evidenciando que as árvores sob competição estão crescendo muito mais em altura do que em diâmetro.

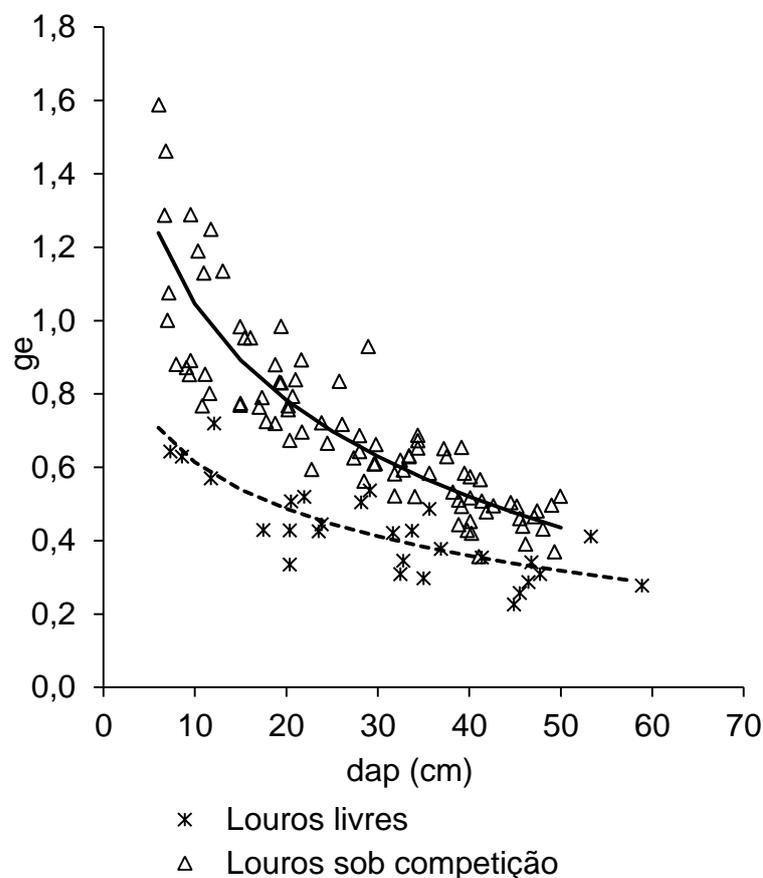


Figura 10 – Distribuição dos valores observados da relação entre grau de esbeltez e diâmetro a altura do peito, juntamente com as estimativas das equações para louros livres e sob competição.

A análise de covariância apresentada na Tabela 11 está indicando que existe diferença de tendência da relação entre grau de esbeltez e diâmetro à altura do peito para as diferentes condições (livres e sob competição), pois o modelo com interação apresentou valor de F igual a 20,78, significativo a 1% de probabilidade de erro.

O modelo sem interação (Tabela 12) apresentou valor de F para condição igual a 92,30, significativo a 1% de probabilidade de erro, comprovando haver também diferença de nível entre o modelo que descreve a relação entre o grau de esbeltez e o diâmetro à altura do peito.

Tabela 11 – Análise de covariância para verificar a diferença de inclinação entre os louros sob competição e louros livres do modelo $ge = b_0 + b_1 \cdot \ln dap$.

| FV | GL | SQ | QM | F | Prob. > F |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|----------|---------------------|
| Modelo | 3 | 6,3350 | 1,5837 | 138,43 | <0,0001 |
| ln dap | 1 | 1,9681 | 1,9681 | 173,39 | <0,0001 |
| Condição | 1 | 0,4382 | 0,4382 | 38,61 | <0,0001 |
| Condição x ln dap | 1 | 0,2358 | 0,2358 | 20,78 | <0,0001 |
| Resíduo | 114 | 1,2699 | 0,0114 | | |
| Total | 117 | 7,6050 | | | |

Sendo: ge= grau de esbeltez; dap= diâmetro a altura do peito; 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.

Tabela 12 – Análise de covariância verificar a diferença de nível entre os louros sob competição e louros livres do modelo $ge = b_0 + b_1 \cdot \ln dap$.

| FV | GL | SQ | QM | F | Prob. > F |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|---------------------|
| Modelo | 2 | 6,0978 | 3,0489 | 228,59 | <0,0001 |
| ln dap | 1 | 4,2876 | 4,2877 | 321,46 | <0,0001 |
| Condição | 1 | 1,2310 | 1,2311 | 92,30 | <0,0001 |
| Resíduo | 115 | 1,5072 | 0,0133 | | |
| Total | 117 | 7,6050 | | | |

Sendo: ge= grau de esbeltez de copa; dap = diâmetro a altura do peito; 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.

Observando a Figura 10, verifica-se que as árvores mais jovens, com menores diâmetros, possuem alto grau de esbeltez, chegando a atingir valor de 1,6. Cabe inferir que, estas se encontravam em um local onde a floresta estava em estágio de regeneração, com elevada densidade de árvores de variadas espécies, e

o louro-pardo, por ser uma espécie que prefere locais com maior luminosidade para se desenvolver, investiu mais em crescimento em altura, para atingir o estrato emergente da floresta. Aliado a isso, Scolforo (1994) ressalva que o maior incremento anual em altura é verificado na fase jovem diminuindo na adulta. Já com relação à variável diâmetro, em qualquer estrato ela é bastante afetada pela concorrência, sendo assim, quando a concorrência é alta, a razão h/dap é maior que quando a concorrência for moderada.

Ainda, de acordo com o mesmo autor, o comprimento de copa é outra variável que influencia a relação hipsométrica, pois quanto mais comprida for a copa, menor é a razão altura-diâmetro, e conseqüentemente, menor é a competição. Então, associa-se a isso, o motivo pelo qual as árvores livres de competição deste estudo possuem maiores comprimentos de copa e menor grau de esbeltez quando comparadas às que se encontram na floresta.

4.2 Incremento e sua relação com as variáveis dimensionais

Mediante a comparação do crescimento dos louros livres e sob competição entre os anos 2005 a 2009 (Tabela 13), verifica-se que os livres apresentaram incrementos periódicos anuais bem superiores em relação aos sob competição, sendo que, o incremento médio em diâmetro dos louros livres, ultrapassou o dobro (1,14 cm) e em área basal atingiu quase o triplo (41,49 cm²) do valor quando comparado com os louros sob competição.

Em vista disso, pode-se afirmar que, apesar da concorrência não ter influenciado significativamente no índice de saliência (dc/dap) dos louros livres e sob competição, como visto anteriormente, refletiu substancialmente no crescimento em área basal destes. Sendo assim, o louro-pardo apresentou maior taxa de crescimento quando estava totalmente isolado (sem competição) muito provavelmente devido à incidência de luminosidade de maior intensidade e duração quando comparado com os que se encontravam na floresta, aliado a isso, a ausência de competição por água, espaço e nutrientes favoreceu o maior incremento das árvores.

Tabela 13 – Análise de variância juntamente com os valores médios, mínimos e máximos de crescimento de *Cordia trichotoma* sob competição e livres.

| Variáveis | FV | Média | Min. | Máx. | F | Prob.> F |
|-------------------------|--------|-------|------|-------|-------|----------|
| IPAd (cm) | Comp. | 0,47 | 0,08 | 1,58 | 82,40 | <0,0001 |
| | Livres | 1,14 | 0,57 | 2,44 | | |
| IPAg (cm ²) | Comp. | 14,56 | 1,65 | 44,63 | 81,89 | <0,0001 |
| | Livres | 41,49 | 5,38 | 76,57 | | |

Em que: IPAd= incremento periódico anual em diâmetro; IPAg = incremento periódico anual em área basal; FV= fonte de variação; Ft= valor de F calculado para a variável dependente; Prob.>F = nível de probabilidade de erro.

Devido a significativa diferença de incrementos em diâmetro e em área basal entre o louro-pardo livre de competição e sob competição, é fundamental a definição de práticas de manejo adequadas para esta espécie, principalmente de desbaste, que contribuirão para a maior produção volumétrica e conseqüentemente maior viabilidade econômica, garantindo com isso, a sustentabilidade de produção.

Analisando os dados obtidos por Mattos (2007), para *Cordia trichotoma*, verifica-se semelhança destes com os louros sob competição do presente estudo. O autor encontrou entre os anos de 1995 a 2003, incremento periódico anual médio em diâmetro de 0,4 cm e, em área basal, de 14,6 cm². Já para *Cabraela canjerana*, valores de 0,4 cm e 17,4 cm² e *Cedrela fissilis* 0,7 cm e 34,7 cm² de incremento periódico anual em diâmetro e área basal respectivamente.

Scheeren et al. (2002), estudando dois exemplares de *Cordia trichotoma* também em Santa Maria (CISM), encontrou incremento periódico anual em dap de 0,5 cm em um período de 87 anos. Cabe salientar que, tanto os valores de incremento de louros sob competição encontrados por Mattos (2007) quanto os de Scheeren et al. (2002) não ultrapassaram os valores de incremento em diâmetro e área basal dos louros livres de competição deste estudo.

Observando a Figura 11, constata-se que o incremento em diâmetro foi maior nas árvores com diâmetros entre 5 a 10 cm, para as árvores sob concorrência e, entre 10 a 20 cm para as livres, apresentando comportamento decrescente com o aumento do diâmetro. Com isso, pode-se inferir que, o crescimento em diâmetro é maior nas árvores mais jovens, de menores dimensões, diminuindo à medida que estas vão envelhecendo. Já o incremento médio em área basal (Figura 12), apresentou os maiores valores nas classes de maiores diâmetros.

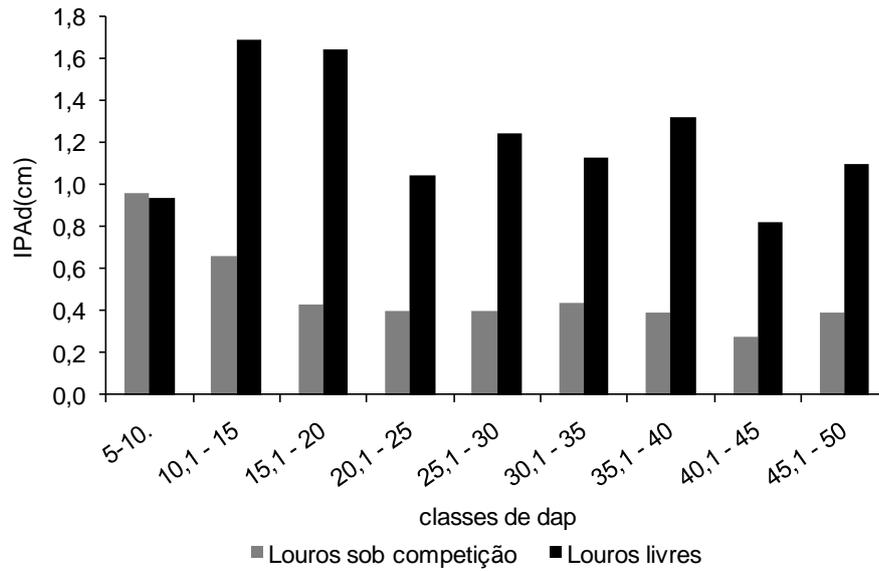


Figura 11 – Incremento Periódico Anual em diâmetro para *Cordia trichotoma* sob competição e livres na região central de Santa Maria.

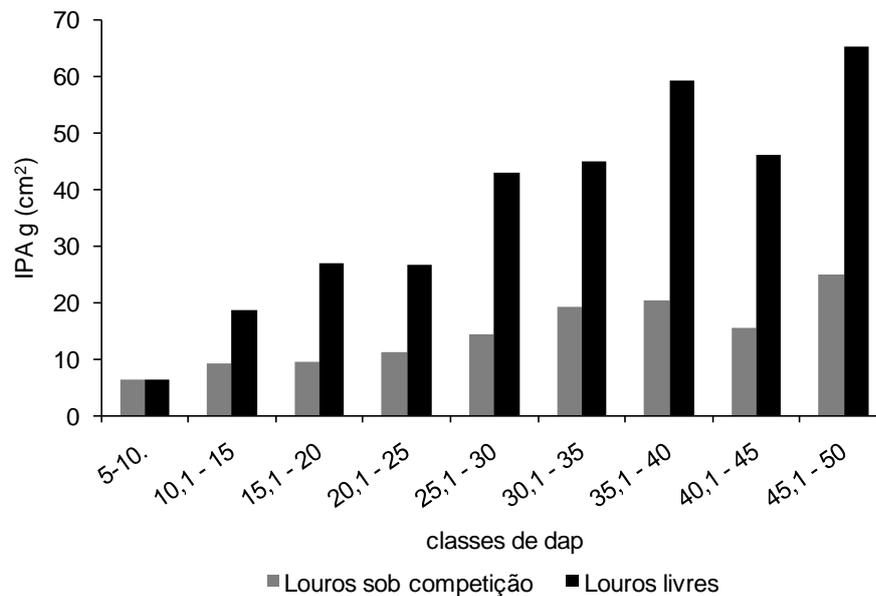


Figura 12 – Incremento Periódico Anual em área basal para *Cordia trichotoma* sob competição e livres na região central de Santa Maria.

A relação entre o incremento em diâmetro e o dap é inversa à relação entre incremento em área basal e dap para as duas situações (livres e sob competição), sendo que, quando o dap aumenta, o incremento em diâmetro, de forma geral,

diminui, já com o incremento em área basal ocorre o inverso, pois este aumenta com o aumento do dap (Figura 11 e 12).

Cunha (2009), estudando o crescimento de *Cedrela odorata*, observou que a média do incremento periódico em área basal tendeu a aumentar à medida que aumentou a classe de diâmetro, alcançando um ponto máximo nas árvores de diâmetro entre 70 a 90 cm e, posteriormente, decrescendo na classe de árvores com diâmetro acima de 90 cm. O mesmo autor afirmou ainda que, a capacidade da espécie em agregar área basal é um aspecto do desempenho de seu crescimento, que tem uma importante implicação no que se refere à produção de madeira.

Observando a Tabela 14, verifica-se que o incremento periódico anual em diâmetro dos louros sob competição está mais correlacionado com as diferentes variáveis quando comparado aos livres, sendo que o IAd dos louros livres, apresentaram correlação significativa somente com a altura de início da copa, percentagem de copa, formal de copa e as variáveis qualitativas densidade de copa, fator de copa e presença de cipós.

Tabela 14 – Correlação de Pearson do incremento com as variáveis dendrométricas, morfométricas e qualitativas de *Cordia trichotoma* sob competição e livres.

| Variável | IAd (cm) | | IPAg (cm ²) | |
|----------|---------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|
| | sob competição | livres | sob competição | livres |
| dap | -0,48* | -0,20 ^{ns} | 0,61* | 0,86* |
| dc | -0,45* | -0,21 ^{ns} | 0,55* | 0,80* |
| h | -0,53* | -0,16 ^{ns} | 0,50* | 0,74* |
| hic | -0,48* | -0,34** | 0,37* | 0,49** |
| hc | -0,26** | -0,28 ^{ns} | 0,43* | 0,51** |
| cc | -0,34* | 0,01 ^{ns} | 0,44* | 0,72* |
| ge | 0,38* | 0,11 ^{ns} | -0,54* | -0,66* |
| pc | -0,04 ^{ns} | 0,38** | 0,19 ^{ns} | 0,10 ^{ns} |
| is | 0,21 ^{ns} | -0,06 ^{ns} | -0,29* | -0,26 ^{ns} |
| ia | -0,25** | -0,17 ^{ns} | 0,38* | 0,44* |
| fc | -0,25** | -0,34** | 0,10 ^{ns} | 0,35 ^{ns} |
| fac | 0,30* | 0,63* | 0,39* | 0,56* |
| dec | 0,50* | 0,40** | 0,34* | 0,64* |
| ci | -0,25** | 0,39** | 0,03 ^{ns} | -0,04 ^{ns} |

Em que: dap= diâmetro a altura do peito (cm); dc= diâmetro de copa (m); h= altura total (m); hic= altura do início da copa (m); hc= altura comercial (m); cc= comprimento de copa(m); ge= grau de esbeltez; pc= percentagem de copa; is= índice de saliência; ia= índice de abrangência; fc= formal de copa; dec= densidade de copa; fac= fator de copa; ci = presença de cipós; IAd= incremento periódico anual em diâmetro; IPAg= incremento periódico anual em área basal; * = significância a 1 %; ** = significância a 5%.

Já o incremento periódico anual em área basal, tanto para os louros sob competição quanto os livres, apresentaram correlações significativas com a maioria das variáveis dimensionais e qualitativas. Vale destacar que, a melhor correlação da variável resposta - IPAg - foi obtida com o diâmetro à altura do peito, para as duas situações, sendo que, para os louros livres, a correlação foi bem maior, indicando ser uma variável importante para a prognose do crescimento em área basal. Mattos (2007) também encontrou correlação significativa entre o IPAg e o dap, sendo esta de 70%, a 5% de probabilidade de erro, para a mesma espécie.

Após o diâmetro à altura do peito, as maiores correlações do incremento foram obtidas com o diâmetro de copa, altura total, altura comercial, comprimento de copa e grau de esbeltez, todos correlacionados positivamente, ou seja, o incremento em área basal aumenta à medida que aumentam as dimensões da árvore (Figura 13- B, C, D, E), exceto para o grau de esbeltez que teve correlação negativa (Figura 13- F), demonstrando que, quanto mais esbelto for o louro-pardo, menor será seu incremento periódico em área basal.

Para os louros sob competição, as características da copa, como a proporção de copa e formal de copa, não apresentaram relação significativa com o incremento periódico anual em área basal, já para as árvores livres, as duas variáveis anteriormente citadas, como também índice de saliência não apresentaram correlação com o IPAg (Tabela 14).

Estudando a dendroecologia de *Cedrela fissilis* na região de Santa Maria/RS, Pereira (2011), verificou que as variáveis com maiores correlações com o incremento médio em área basal foram o diâmetro de copa (62%) e índice de abrangência (62%), sendo que o período correspondente a estas correlações foi dos últimos seis anos. A autora também encontrou correlação significativa e negativa entre o grau de esbeltez com o incremento médio (-0,57) dos últimos cinco anos.

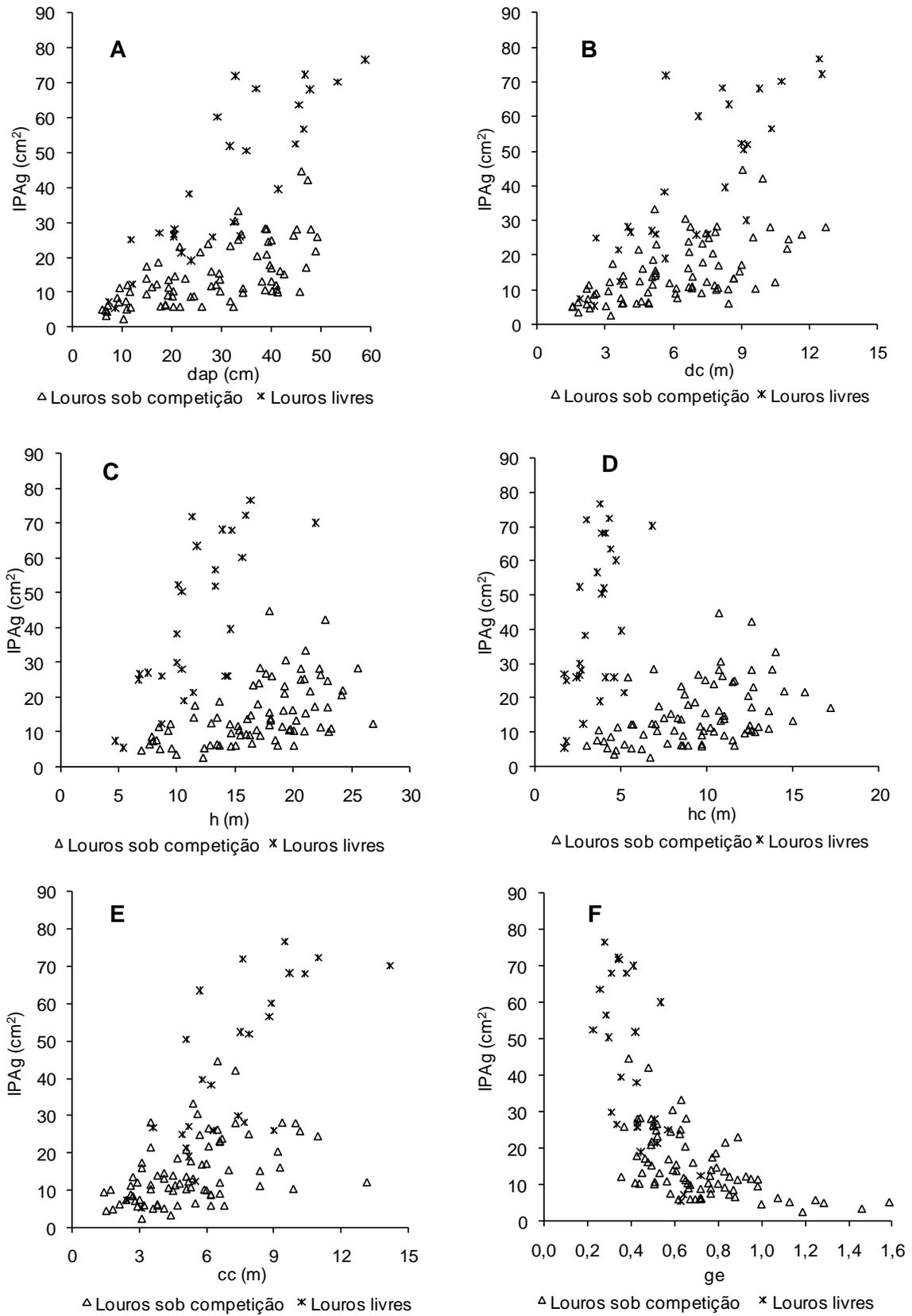


Figura 13 – Dispersão dos valores observados de Incremento Periódico Anual em área basal em função das características dendrométricas e morfométricas de louros sob competição e livres na região central de Santa Maria.

4.3 Modelos de incremento para *Cordia trichotoma* livre de competição

Neste item, buscou-se a elaboração de diferentes alternativas para estimar o incremento periódico anual em área basal de *Cordia trichotoma* livre de competição, sendo uma destas em função do diâmetro à altura do peito e as demais alternativas a partir do diâmetro à altura do peito com as características qualitativas da copa.

4.3.1 Modelo de incremento para *Cordia trichotoma* livre de competição em função do diâmetro à altura do peito

Como visto anteriormente, os louros livres de competição apresentaram incremento em diâmetro e em área basal significativamente maior que os louros sob competição, com isso, decidiu-se investigar o incremento desta espécie quando a mesma se desenvolve de forma solitária, pois na modelagem do crescimento, as árvores que não são influenciadas pela competição inter e intra-específica, possuem condições ótimas de crescimento.

Optou-se em modelar o incremento periódico anual em área basal, pelo fato deste estar mais correlacionado com as variáveis dimensionais que o incremento em diâmetro, devendo com isso, predizer de forma mais eficiente o crescimento do louro-pardo. Aliado a isso, Mattos (2007) afirmou que, os valores de incremento em área basal representam melhor o crescimento de uma árvore do que os valores de incremento em diâmetro, pois as árvores de diferentes diâmetros podem apresentar o mesmo incremento em diâmetro, no entanto, a de maior diâmetro, terá o maior incremento em área basal.

Como o diâmetro à altura do peito foi a variável que mais explicou o crescimento (86%), esta foi utilizada em substituição à variável idade, seguindo a mesma hipótese de Sterba (2006) de que, quanto mais grossa a árvore, maior é a sua idade, visto que, para a estimativa do crescimento de uma floresta composta por numerosas espécies, com uma grande diversidade e diferentes estágios sucessionais, a idade é aspecto de difícil determinação em florestas nativas.

Utilizando somente as características dimensionais do louro-pardo na modelagem, o diâmetro à altura do peito explicou de forma satisfatória a variação do incremento em área basal desta espécie, sendo que, o procedimento STEPWISE foi somente até o passo 1 (Tabela 15), selecionando apenas a variável independente diâmetro à altura do peito, com valor do coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) igual a 0,73 e de variação (CV) equivalente a 27,6%.

Tabela 15 – Regressão pelo procedimento STEPWISE para descrever o incremento periódico anual em área basal dos louros livres.

| Variável | Parâmetro estimado | Erro Padrão | Erro tipo II SS | Valor de F | Pr>F |
|------------|--------------------|-------------|-----------------|------------|---------|
| Intercepto | 2,7228 | 5,6324 | 27,8527 | 0,23 | 0,6336 |
| dap | 1,3101 | 0,1619 | 7801,9723 | 65,46 | <0,0001 |

Em que: dap= diâmetro a altura do peito.

Como o intercepto não foi significativo, realizou-se novamente a análise de regressão, excluindo o intercepto, originando o seguinte modelo para estimativa do incremento periódico anual em área basal dos louros livres de competição:

$$IPAg = 1,3468 \cdot dap$$

O modelo apresentou valor de $R^2_{aj} = 0,94$ e $CV=27,0\%$. Cabe ressaltar que, não foi necessário fazer a transformação da variável dependente, pois o modelo satisfaz todos os condicionantes de regressão, indicando pelo teste de White ($X^2=6,15^{ns}$), homogeneidade de variância do incremento observado em função do diâmetro. O teste de Durbin-Watson acusou independência dos resíduos gerando um valor igual a $2,25^{ns}$ e teste de Shapiro-Wilk gerou um valor de $0,97^{ns}$ indicando normalidade dos resíduos.

Na Figura 14, pode-se observar a distribuição dos resíduos do modelo $IPAg = 1,3468 \cdot dap$ em relação a variável observada incremento, em que se percebe uma razoável distribuição dos valores negativos e positivos dos mesmos, exceto entre o intervalo de incremento de 40 a 60 cm^2 , onde os resíduos atingiram uma maior amplitude de dispersão.

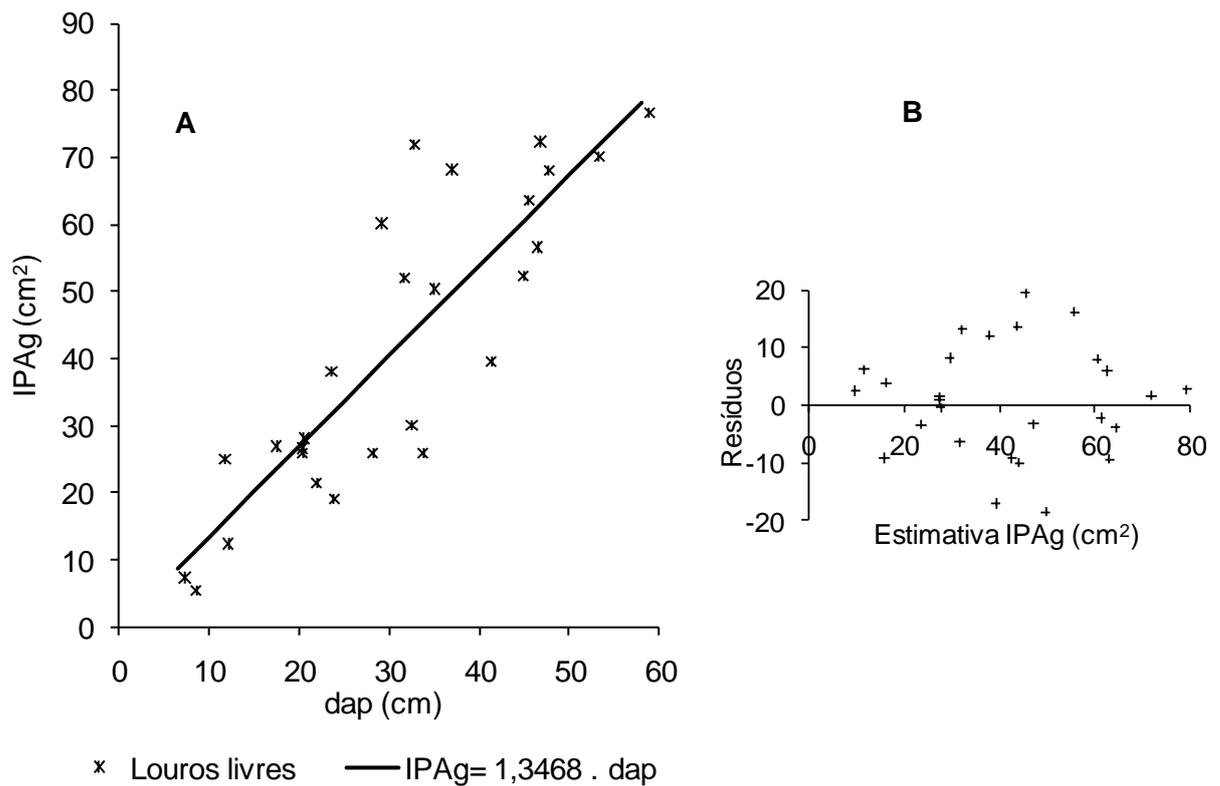


Figura 14 – Distribuição dos valores observados e estimados (A) e dos resíduos (B) do modelo $IPAg = 1,3468 \cdot dap$ para *Cordia trichotoma* livre de competição na região central do estado do Rio Grande do Sul.

Vale destacar que, apesar do diâmetro de copa, comprimento de copa, altura total e grau de esbelte apresentarem alta correlação com o incremento em área basal, estas variáveis não entraram no modelo, muito provavelmente por estarem altamente correlacionadas com o diâmetro à altura do peito, que, por sua vez, foi capaz de explicar suficientemente o incremento.

A utilização da variável diâmetro à altura do peito para prever o incremento periódico anual em área basal dos louros solitários tem fator positivo, pois esta é de fácil obtenção, gerando praticidade na estimativa do incremento. No entanto, observando a Figura 14, um louro-pardo com 30 cm de dap, quando estiver sem nenhuma competição, pode crescer em área basal de 25 a 75 cm² por ano, porém, de acordo com o modelo, com o mesmo dap, esta espécie cresce em torno de 40 cm² em área basal por ano. Então, apesar do modelo ter gerado boas estatísticas, o mesmo não foi capaz de explicar a variação de incremento para um mesmo diâmetro. Com isso, investigou-se, além do diâmetro a altura do peito, quais

variáveis estariam atuando sobre o incremento do louro-pardo, partindo-se para o estudo das variáveis qualitativas densidade de copa e fator de copa.

4.3.2 Modelos de incremento para *Cordia trichotoma* livre de competição em função do dap e das características qualitativas da copa

Com as variáveis qualitativas fator de copa (fac) e densidade de copa (dec), foram formados 8 grupos, porém, em alguns casos, haviam poucas repetições, então, foram retirados alguns indivíduos e com isso, realizou-se a análise de covariância para o conjunto de dados pelos quais tivessem 3 repetições ou mais em cada grupo, para com isso gerar maior confiabilidade nos resultados.

Pela análise de covariância (Tabela 16), verifica-se que a relação do incremento em área basal com dap dos louros solitários é influenciada pelo fator e densidade das copas que os mesmos possuem, com valor de $F=34,87$ significativo a 1% de probabilidade de erro.

Tabela 16 – Análise de covariância do modelo $IPAg = b_1 \cdot dap$ para louro-pardo livre de competição em função do fator e densidade de copa.

| FV | GL | SQ | QM | F | Prob. > F |
|-----------------|----------------|-------------------------|------------|------------|-----------|
| Modelo | 5 | 55476,9888 ^a | 11095,3976 | 631,84 | <0,0001 |
| dap | 1 | 25220,21605 | 25220,2160 | 1436,20 | <0,0001 |
| dap*(fac*dec) | 4 | 2449,3695 | 612,3424 | 34,87 | <0,0001 |
| Erro | 17 | 298,5262 | 17,5604 | | |
| Total | 22 | 55775,5150 | | | |
| Parâmetro | Valor estimado | | Erro | Valor de t | Pr > t |
| dap | 2,1360 | | 0,0924 | 23,15 | <0,0001 |
| dap*(fac2*dec1) | -1,3638 | | 0,1355 | -10,06 | <0,0001 |
| dap*(fac2*dec3) | -1,1144 | | 0,1374 | -8,11 | <0,0001 |
| dap*(fac3*dec3) | -0,8473 | | 0,0986 | -8,48 | <0,0001 |
| dap*(fac4*dec3) | -0,5647 | | 0,1044 | -5,30 | <0,0001 |
| dap*(fac4*dec4) | - | | - | - | - |

^a $R^2=92$ CV=17%. Sendo: dap = diâmetro a altura do peito; fac = fator de copa; dec = densidade de copa; 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; t = valor de t calculado para a variável dependente; Prob.> |t| = nível de probabilidade de erro.

Adicionalmente, pelo teste t da mesma tabela (Tabela 16), verifica-se que ocorreu diferença no valor dos coeficientes angulares dos diferentes grupos formados pelos fatores e densidades de copa (valor de t significativo a 1% de probabilidade de erro), indicando que os indivíduos de *Cordia trichotoma* apresentam tendências de incrementos diferentes em função das características da copa. Vale destacar também a adição das variáveis qualitativas da copa ao modelo gerou uma diminuição do coeficiente de variação de 27% para 17%.

As modificações ocorridas nas relações do incremento em função do diâmetro para diferentes níveis de fatores e densidades de folhas na copa estão representadas pelas retas ajustadas dos modelos obtidos para prever o incremento periódico anual em área basal na Figura 15. É importante salientar que, a linha de maior inclinação em relação ao eixo das abscissas representa o máximo incremento que pode ser obtido pelas árvores com copas em perfeitas condições, ou seja, copas sem falhas e com grande densidade de folhas (fac4 dec4). O grupo fac4 dec3 inclui as árvores com copas bem formadas, sem falhas, porém menos densas em relação ao grupo anterior. Abaixo desta linha, se encontra o grupo composto pelas árvores que possuem a mesma densidade de folhas na copa, no entanto, com copas mais falhadas (fac3 dec3). Logo abaixo, encontra-se a reta que estima as árvores com mais falhas na copa, porém menos densas (fac2 e dec3), verificando que estas possuem comportamento semelhante às árvores com fator de copa 3 e densidade 2.

Com base nisso, fica evidenciado, que o fator de copa interagindo conjuntamente com a densidade de copa influenciam significativamente no incremento em área basal do louro-pardo, pois árvores com copas falhadas e mais densas possuem incrementos semelhantes às árvores que apresentam copas com menos falhas, porém mais ralas.

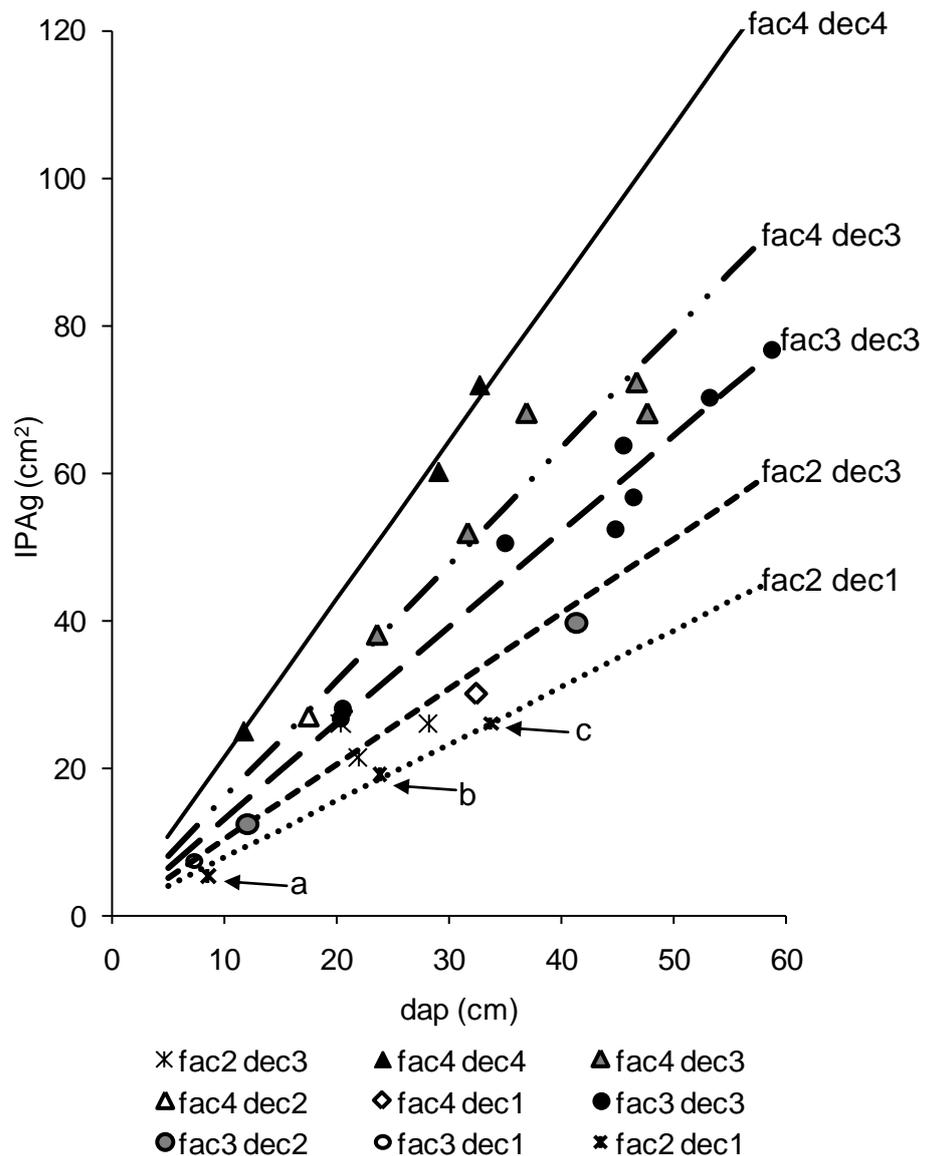


Figura 15 – Retas ajustadas para predição do incremento periódico anual em área basal em função do fator e densidade de copas para *Cordia trichotoma* livre de competição.

Ainda de acordo com a Figura 15, a linha de menor inclinação estima os indivíduos com menores incrementos, estes pelos quais apresentam as copas com bastante falhas e muito ralas (fac2 dec1). Associado a estes fatores, verificou-se também que o indivíduo com dap correspondente a 8,6 cm (a), apresentava sanidade mediana, pois seu tronco estava parcialmente danificado, o que pode também ter ocasionado a diminuição de seu incremento nos últimos anos em comparação com os demais. O indivíduo com dap igual a 23,9 (b), apresentava

bastante presença de cipós, tanto na copa como no fuste. Cunha (2009) afirmou que em média, árvores livres de lianas crescem 12,4% mais em área basal que árvores com a presença severa de lianas na copa. Aliado a isso, explica-se o baixo crescimento deste louro. Já o indivíduo com dap igual a 33,7 (c) estava localizado próximo a uma lavoura de arroz, havendo neste local um solo bastante úmido, o que provavelmente ocasionou seu menor incremento, pois de acordo com Carvalho (2003) *Cordia trichotoma* é exigente com relação ao tipo de solo, sendo que os hidromórficos devem ser evitados.

Então, já que o coeficiente angular do modelo utilizado para estimar o incremento periódico anual em área basal de *Cordia trichotoma* livre de competição variou com o fator e densidade de copas (Tabela 16), este pode ser reestimado em função dessas duas variáveis, resultando no seguinte modelo:

$$b_1' = 0,6665 \cdot e^{0,0725 \cdot (\text{fac} \cdot \text{dec})}$$

com $R^2 = 0,99$ e dispersão apresentada na Figura 16.

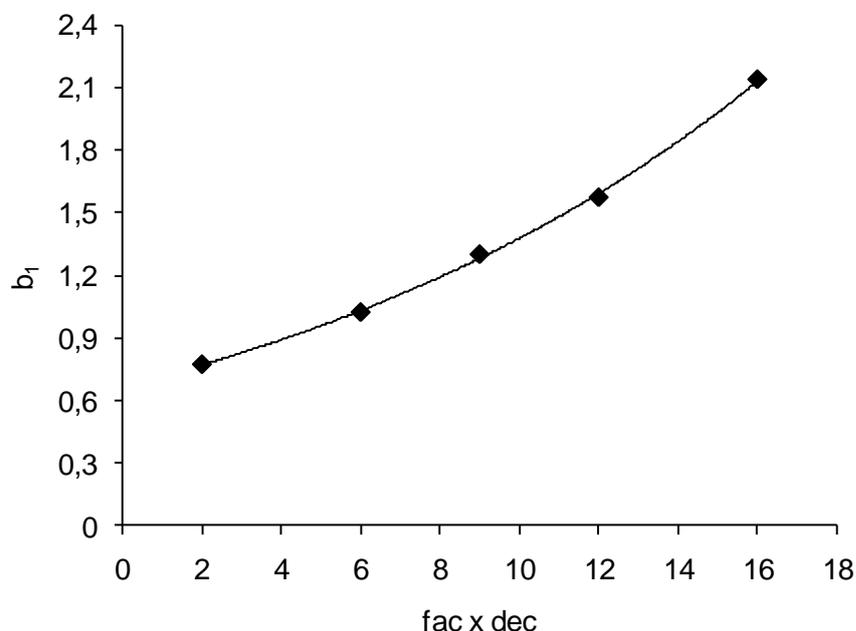


Figura 16 – Estimativa dos coeficientes angulares em função do fator e densidade de copa para louro-pardo livre de competição.

Sendo assim, juntando-se a equação para estimar o coeficiente angular ($b_1' = 0,6665 \cdot e^{0,0725 \cdot (\text{fac} \cdot \text{dec})}$) a partir da interação das variáveis discretas fator e densidade de copa com a função anteriormente encontrada para estimar o incremento ($\text{IPAg} = b_1 \cdot \text{dap}$), o modelo proposto para prever o incremento periódico anual em área basal dos louros livres de competição é:

$$\text{IPAg} = 0,6665 \cdot e^{0,0725 \cdot (\text{fac} \cdot \text{dec})} \cdot \text{dap}$$

Este modelo descreve o incremento em condições ótimas desta espécie, ou seja, sem nenhuma influência da competição, a partir do diâmetro à altura do peito e das características qualitativas da copa, apresentando as estimativas e a distribuição dos resíduos na Figura 17.

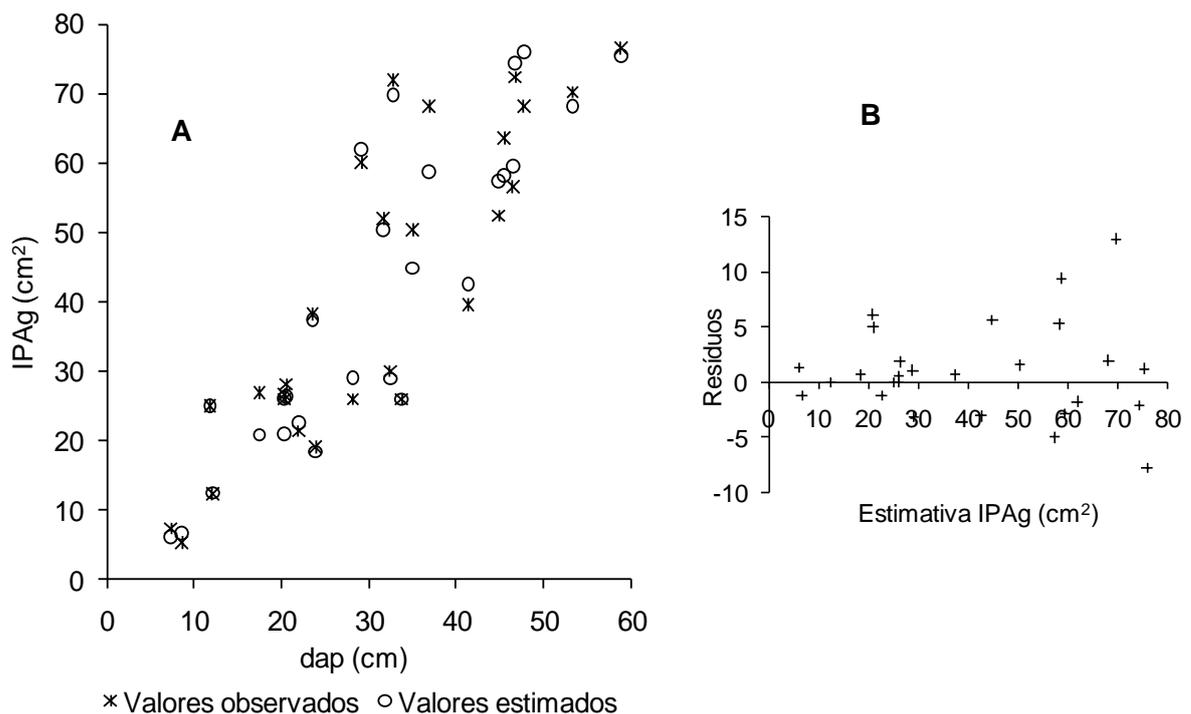


Figura 17 – Distribuição dos valores observados e estimados (A) e dos resíduos (B) do modelo $\text{IPAg} = 0,6665 \cdot e^{0,0725 \cdot (\text{fac} \cdot \text{dec})} \cdot \text{dap}$ para *Cordia trichotoma* livre de competição na região central do estado do Rio Grande do Sul.

Outra forma utilizada para estimar o incremento, foi considerando o fator de copa e densidade de copa como variáveis contínuas, em que o modelo selecionado

para prever o incremento periódico anual em área basal dos louros livres de competição é:

$$IPAg = -15,7761 + 1,1690 \cdot dap + 2,4781 \cdot (\text{fac.dec})$$

Comparando a distribuição dos valores estimados e dos resíduos deste modelo (Figura 18) com o modelo elaborado a partir da estimativa do coeficiente angular (Figura 17), verifica-se que o anterior prediz com maior precisão o incremento para valores inferiores a 20 cm².

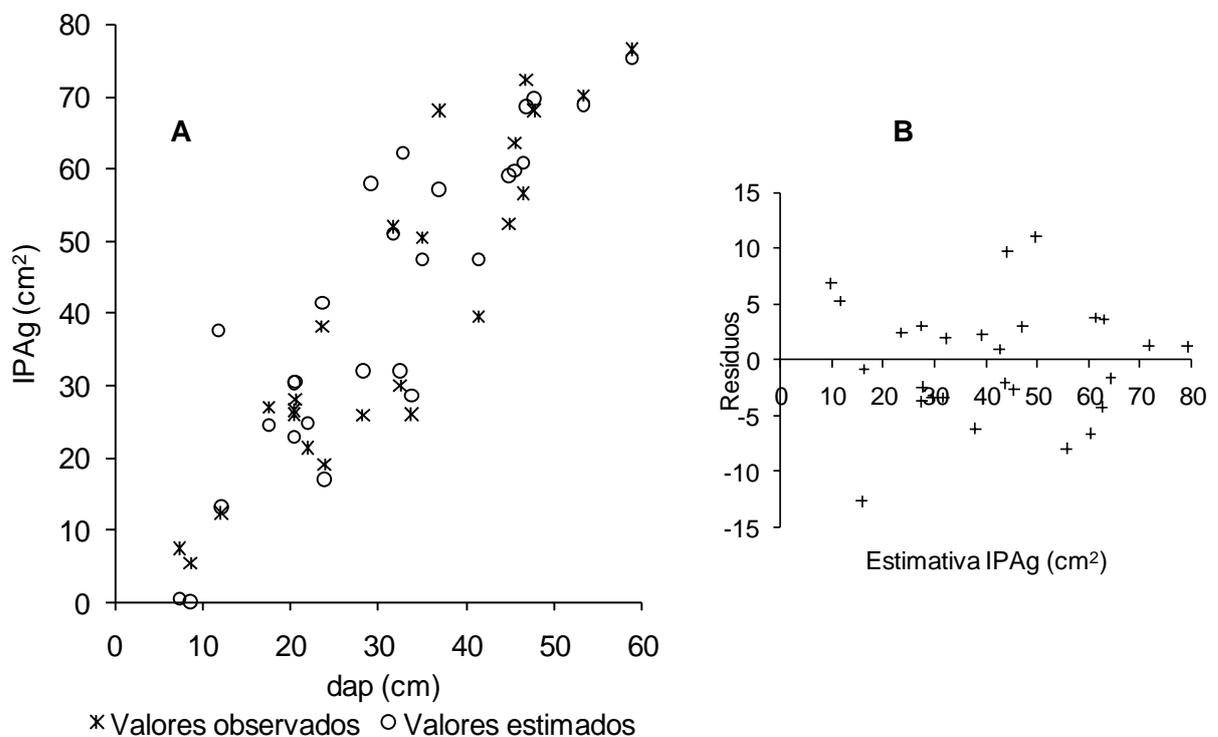


Figura 18 – Distribuição dos valores observados e estimados (A) e dos resíduos (B) do modelo $IPAg = -15,7761 + 1,1690 \cdot dap + 2,4781 \cdot (\text{fac.dec})$ para *Cordia trichotoma* livre de competição na região central do estado do Rio Grande do Sul.

Aliado a isso, pode-se inferir que o modelo 1, pelo qual utiliza as características qualitativas da copa como variáveis discretas para determinar o coeficiente angular, demonstra ser mais adequado para prever o incremento periódico anual em área basal dos louros livres de competição pois de acordo com os critérios estatísticos apresentados na Tabela 17, pelos quais comparam os dois

modelos, constata-se que o primeiro demonstrou ser mais eficiente e apresentar menor erro padrão residual em relação ao segundo.

Tabela 17 – Critérios estatísticos dos modelos para estimar o incremento periódico anual em área basal de *Cordia trichotoma* livre competição.

| N | Modelo | Bias (cm ²) | E | S (cm ²) |
|---|---|-------------------------|------|----------------------|
| 1 | $IPA_g = 0,6665 \cdot e^{0,0725 \cdot (\text{fac} \cdot \text{dec})} \cdot \text{dap}$ | 0,99 | 0,97 | 2,11 |
| 2 | $IPA_g = -15,7761 + 1,1690 \cdot \text{dap} + 2,4781 \cdot (\text{fac} \cdot \text{dec})$ | - 0,05 | 0,94 | 5,37 |

Em que: Bias = tendência absoluta; E = eficiência; S= desvio padrão residual; dap = diâmetro a altura do peito; IPA_g= Incremento periódico anual em área basal; fac = fator de copa; dec = densidade de copa.

4.4 Modelos de incremento para *Cordia trichotoma* sob competição

Neste item, buscou-se a elaboração de diferentes modelos para estimar o incremento periódico anual em área basal de *Cordia trichotoma* sob competição, em que estes possuem como variáveis independentes o diâmetro à altura do peito, as características qualitativas da copa e a competição.

4.4.1 Modelo de incremento para *Cordia trichotoma* sob competição em função do diâmetro à altura do peito

As características dimensionais dos louros sob competição foram testadas como variáveis independentes para explicar o incremento periódico anual em área basal desta espécie, onde, a variável diâmetro à altura do peito foi selecionada para prever o incremento, porém, com intercepto não significativo. Vale destacar que o modelo sem a transformação da variável dependente, acusou heterogeneidade de variância, então, testou-se novamente um modelo com a transformação das variáveis, para assim contornar os efeitos adversos da heterocedasticidade, resultando em um modelo também com intercepto não significativo e com a variável dependente e independente na forma logarítmica (Tabela 18).

Tabela 18 – Regressão pelo procedimento STEPWISE para descrever o incremento periódico anual em área basal dos louros sob competição.

| Modelo | Variável | Parâmetro estimado | Erro Padrão | Erro tipo II SS | Valor de F | Pr>F |
|--------|------------|--------------------|-------------|-----------------|------------|---------|
| 1 | Intercepto | 2,9136 | 1,8862 | 120,1748 | 2,39 | 0,1264 |
| | dap | 0,4195 | 0,0617 | 2326,1602 | 46,18 | <0,0001 |
| 2 | Intercepto | 0,18769 | 0,31167 | 0,08801 | 0,36 | 0,5488 |
| | ln dap | 0,36159 | 0,04816 | 13,68119 | 56,38 | <0,0001 |

Em que: dap= diâmetro a altura do peito.

Então, como os interceptos não foram significativos, procedeu-se novamente o cálculo dos coeficientes das equações, agora sem o intercepto, resultando nos modelos apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Estatísticas dos modelos de regressão obtidos para descrever o incremento periódico anual em área basal de louros sob competição.

| N | Modelo | Parâmetros | CV% | R ² aj | F |
|---|--------------------------------------|------------------|-------|-------------------|----------|
| 1 | IPAg = $b_1 \cdot \text{dap}$ | $b_1 = 0,5061^*$ | 49,16 | 0,82 | 378,09* |
| 2 | ln IPAg = $b_1 \cdot \ln \text{dap}$ | $b_1 = 0,7904^*$ | 17,63 | 0,97 | 2607,62* |

Em que: IPAg = incremento periódico anual em área basal; dap= diâmetro a altura do peito; b_1 = coeficiente angular das equações; R²aj= coeficiente de determinação ajustado; CV%= coeficiente de variação em percentagem; F= teste de F; *= significância a 1 %.

Observando a Tabela 19, pode-se verificar que, a logaritmização contribuiu consideravelmente para a diminuição do coeficiente de variação, no entanto, analisando os valores observados e os estimados pelos diferentes modelos na Figura 19 (A e B) constata-se que os mesmos geraram estimativas semelhantes, com uma leve diferença entre os incrementos de 30 a 50 cm², em que o modelo com a transformação das variáveis apresentou um leve declínio em comparação com o modelo sem transformação.

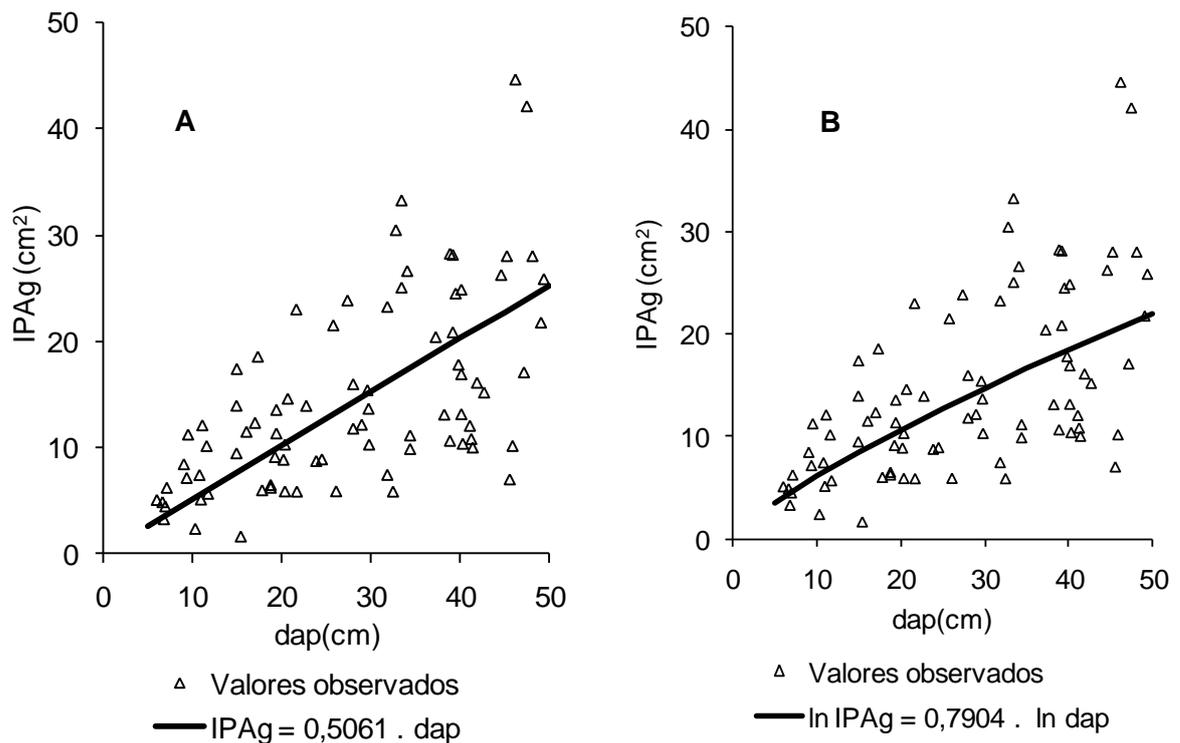


Figura 19 – Distribuição dos valores observados e estimados pelos modelos sem transformação (A) e com transformação das variáveis(B) utilizados para descrever o incremento periódico anual em área basal de *Cordia trichotoma* sob competição.

A distribuição dos resíduos (Figura 20) comprovou a semelhança do comportamento das estimativas dos modelos, podendo-se inferir que, a logaritmização, apesar de ser uma ferramenta utilizada para diminuir a heterogeneidade de variância, pouco colaborou para modificar os valores preditos de incremento em área basal. Já para o modelo na forma aritmética, a não transformação das variáveis é uma forma mais prática a ser utilizada para prever o incremento periódico anual do louro-pardo sob competição.

Em vista disso, cabe salientar que, da mesma forma como ocorreu com os louros livres de competição, o crescimento dos louros sob competição também é explicado pela multiplicação do coeficiente angular pela variável diâmetro.

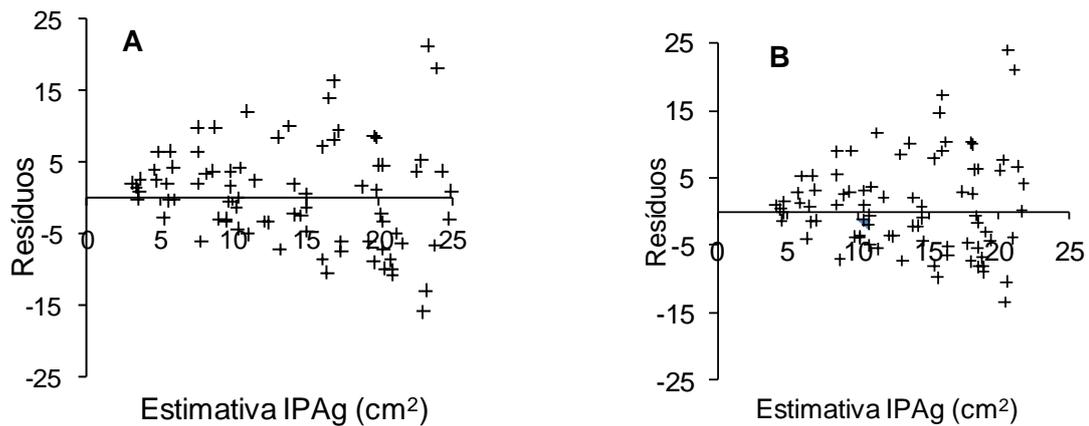


Figura 20 – Distribuição dos resíduos das equações $IPAg = b_1 \cdot 0,5061$ (A) e $\ln IPAg = 0,7904 \cdot \ln dap$ (B) utilizadas para descrever o incremento periódico anual em área basal de *Cordia trichotoma* sob competição.

O incremento periódico anual em área basal de *Cordia trichotoma*, quando predito pelo diâmetro, difere entre as árvores livres e sob competição, como pode ser observado claramente na Figura 21, em que os louros livres possuem curva mais ascendente de incremento à medida que aumenta o diâmetro, verificando-se nitidamente a superioridade de incremento destes em relação aos louros sob competição.

Mattos (2007), também representou o incremento periódico anual em área basal desta espécie em razão do diâmetro, em uma floresta nativa no Vale Vênето-RS, encontrando o seguinte modelo $IPAg = 6,4915 - 0,1299 \cdot dap + 0,018 \cdot dap^2$, com valor de coeficiente de determinação igual a 0,54. O autor afirmou que, os exemplares de *Cordia trichotoma*, *Cedrella fissilis* e de *Cabraela canjerana* analisados também não apresentaram ponto de inflexão das curvas para a faixa diamétrica de até 50 cm, pois estas possuíam comportamento ascendente.

Já para Della-Flora (2001), estudando o crescimento de *Ocotea puberula*, verificou que o incremento individual em área basal foi ascendente à medida que apresentou maiores diâmetros (faixa de 10 a 50 cm), sendo que, a partir daí, o incremento começou a estabilizar.

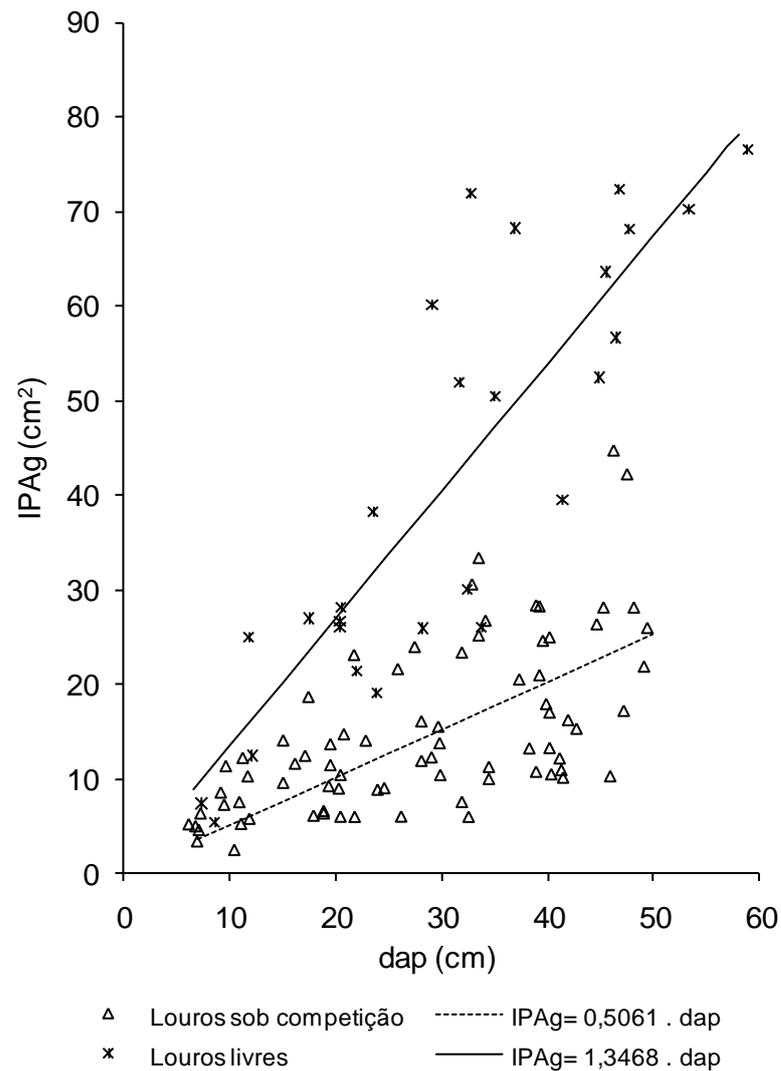


Figura 21 – Dispersão dos dados observados e estimados de Incremento Periódico Anual em área basal em função do diâmetro a altura do peito para *Cordia trichotoma* livre e sob competição.

4.4.2 Modelos de incremento para *Cordia trichotoma* sob competição em função do dap, das características qualitativas da copa e de competição

Como houve grande variação de incremento para um mesmo diâmetro entre os louros sob competição e o modelo que prediz o incremento em função do diâmetro à altura do peito não foi capaz de explicar esta variação, buscou-se averiguar a influência das variáveis qualitativas da copa no incremento desta espécie quando submetida à concorrência.

Seguindo o mesmo procedimento utilizado para os louros livres, realizou-se novamente uma análise de covariância (Tabela 20) para o conjunto de dados pelos quais tivessem 3 repetições ou mais em cada grupo, em que esta indicou que a relação do incremento em área basal pelo diâmetro dos louros sob competição é influenciada pelo fator e densidade de copas que os mesmos possuem, com valor de F para a interação significativo a 1% de probabilidade de erro. Cabe salientar também que o fator e densidade de copa contribuíram para diminuir o coeficiente de variação do modelo de 49,2 para 21,4%.

Ainda na mesma tabela, os valores de t foram significativos a 1% de probabilidade de erro, indicando que os grupos formados pelos diferentes fatores e densidades de copa possuem tendências de incrementos diferentes, podendo então ser separados para a predição do incremento periódico anual em área basal.

Tabela 20 – Análise de covariância da função $IPAg = b_1 \cdot dap$ para louro-pardo sob competição em função do fator e densidade de copa.

| FV | GL | SQ | QM | F | Prob. > F |
|-----------------|----------------|-------------------------|-------------|------------|-----------|
| Modelo | 7 | 22542,6942 ^a | 3220,3849 | 321,03 | <0,0001 |
| ln dap | 1 | 12286,0414 | 12286,04144 | 1224,76 | <0,0001 |
| dap*(fac*dec) | 6 | 3336,6333 | 556,1056 | 55,44 | <0,0001 |
| Erro | 21 | 712,225 | 10,0313 | | |
| Total | 78 | 23254,9201 | | | |
| Parâmetro | Valor estimado | | Erro | Valor de t | Pr > t |
| dap | 0,9453 | | 0,0442 | 21,38 | <0,0001 |
| dap*(fac2*dec1) | -0,7620 | | 0,0616 | -12,38 | <0,0001 |
| dap*(fac2*dec2) | -0,6521 | | 0,0523 | -12,47 | <0,0001 |
| dap*(fac2*dec3) | -0,3452 | | 0,0583 | -5,92 | 0,0004 |
| dap*(fac3*dec1) | -0,6772 | | 0,0713 | -9,50 | <0,0001 |
| dap*(fac3*dec2) | -0,4676 | | 0,0479 | -9,71 | <0,0001 |
| dap*(fac3*dec3) | -0,1554 | | 0,0531 | -2,92 | 0,0046 |
| dap*(fac4*dec3) | 0,0000 | | - | - | - |

^a $R^2=0,88$ $CV=21,4\%$. Sendo: dap = diâmetro a altura do peito; fac = fator de copa; dens = densidade de copa; 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; t = valor de calculado para a variável dependente; Prob.> |t| = nível de probabilidade de erro.

Então, como as características qualitativas da copa influenciaram no incremento do louro-pardo e o coeficiente angular dos modelos utilizados para estimar o incremento periódico anual em área basal desta espécie sob competição variou conforme os diferentes fatores e densidades de copa, este pode ser

reestimado em função dessas duas variáveis discretas, resultando no seguinte modelo:

$$b_1' = 0,0911 \cdot (\text{fac} \cdot \text{dec})^{0,9605}$$

O modelo apresentou coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,97 e dispersão apresentada na Figura 22.

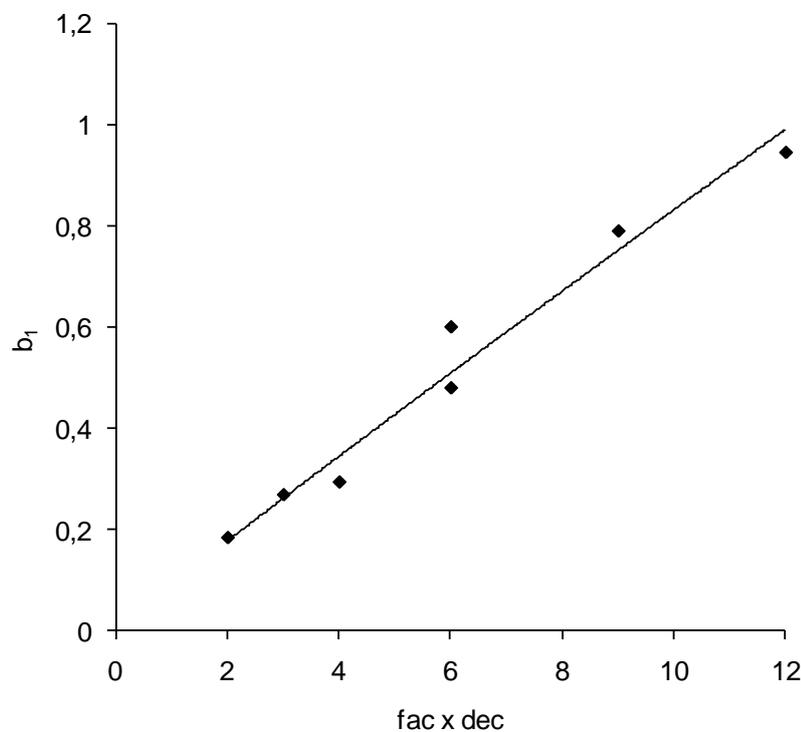


Figura 22 – Estimativa dos coeficientes angulares em função do fator e densidade de copa para *Cordia trichotoma* sob competição.

Sendo assim, unindo a equação para estimar o coeficiente angular ($b_1' = 0,0911 \cdot (\text{fac} \cdot \text{dec})^{0,9605}$) com a função anteriormente utilizada para estimar o incremento ($\text{IPAg} = b_1 \cdot \text{dap}$), o modelo proposto para prever o incremento periódico anual em área basal dos louros sob competição em função das variáveis qualitativas e do diâmetro a altura do peito é:

$$\text{IPAg} = 0,0911 \cdot (\text{fac} \cdot \text{dec})^{0,9605} \cdot \text{dap}$$

O modelo apresentou uma boa distribuição dos valores estimados em relação aos observados (Figura 23- A), no entanto, observa-se que o mesmo superestimou e subestimou os valores de incremento no intervalo de 15 a 25 cm² (Figura 23-B).

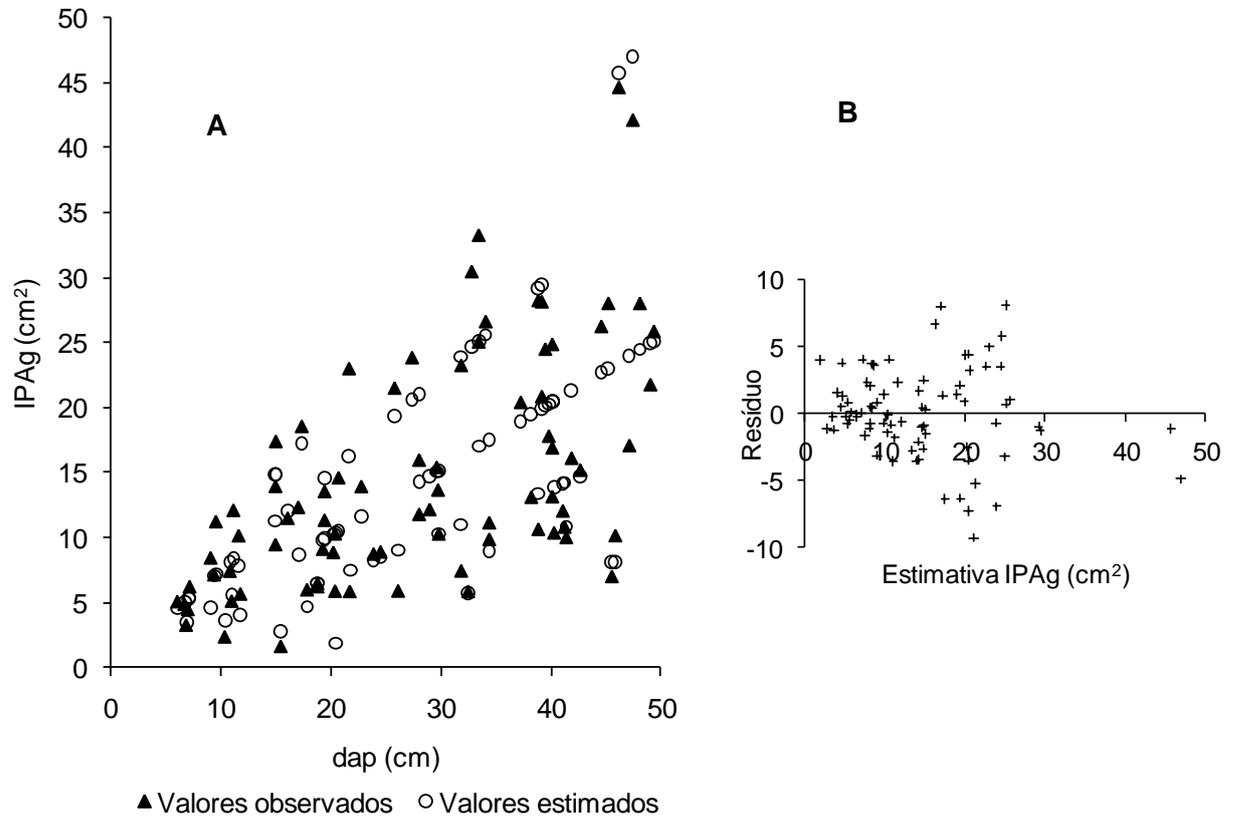


Figura 23 – Distribuição dos valores observados e estimados (A) e dos resíduos (B) do modelo $IPAg = 0,0911 \cdot (\text{fac} \cdot \text{dec})^{0,9605} \cdot \text{dap}$ para *Cordia trichotoma* sob competição na região central do estado do Rio Grande do Sul.

O modelo apresentou boas estimativas de incremento periódico anual em área basal para o conjunto de dados, demonstrando, de acordo com a Tabela 21, ser eficiente e com baixo valor de erro médio (0,09 cm).

Tabela 21 – Critérios estatísticos do modelo $IPAg = 0,0911 \cdot (\text{fac} \cdot \text{dec})^{0,9605} \cdot \text{dap}$ para *Cordia trichotoma* sob competição.

| Modelo | Bias (cm ²) | E | S (cm ²) |
|---|-------------------------|------|----------------------|
| $IPAg = 0,0911 \cdot (\text{fac} \cdot \text{dec})^{0,9605} \cdot \text{dap}$ | 0,09 | 0,86 | 3,32 |

Em que: IPAg= Incremento periódico anual em área basal; fac = fator de copa; dec = densidade de copa; dap = diâmetro a altura do peito; Bias = tendência absoluta; E= eficiência; S= desvio padrão residual;

As modificações ocorridas nas relações do incremento em função do diâmetro para diferentes níveis de fatores e densidades de folhas na copa estão representadas pelas retas ajustadas dos modelos para prever o incremento periódico anual em área basal dos louros livres e sob competição na Figura 24.

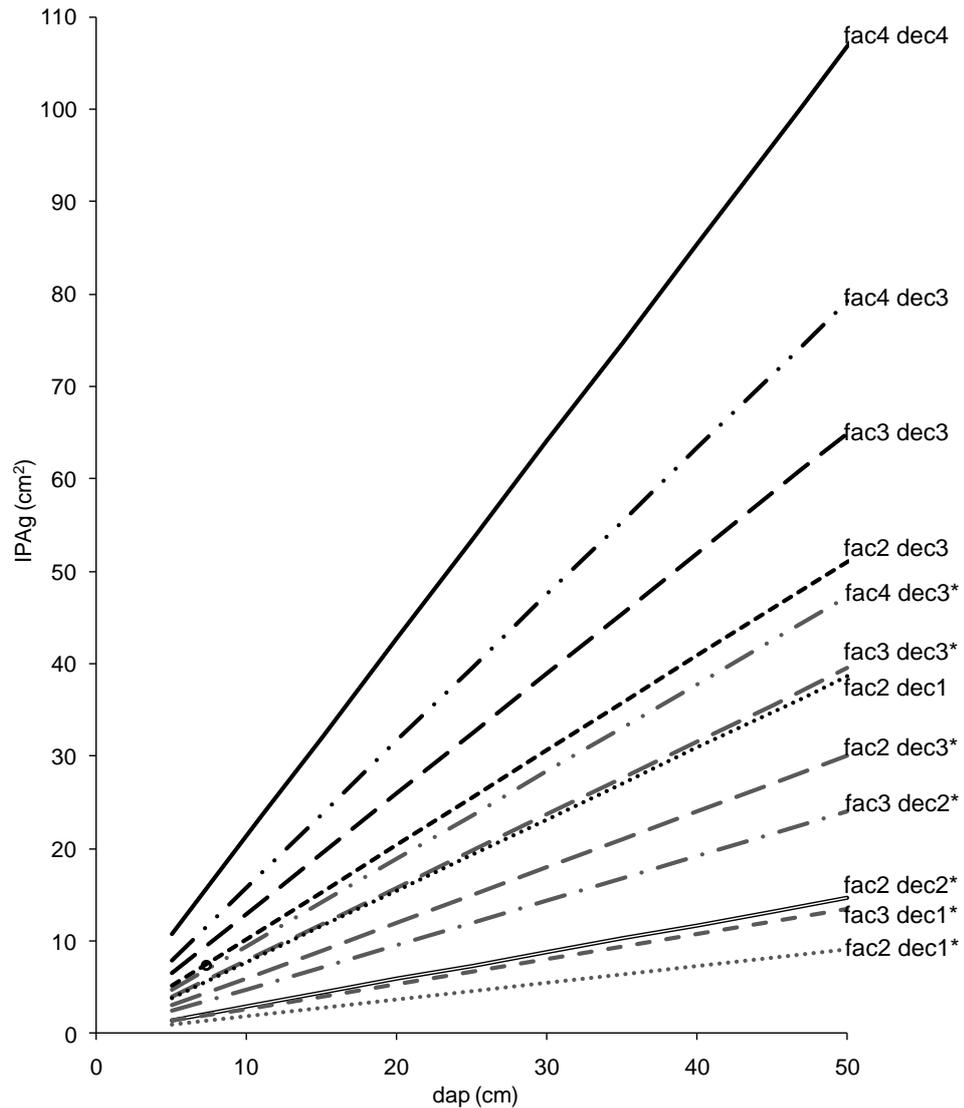


Figura 24 – Retas ajustadas para predição do incremento periódico anual em área basal em função do fator e densidade de copas para *Cordia trichotoma* livre de competição e sob competição*.

É interessante observar na Figura 24, a semelhança de inclinação entre os grupos com fator de copa 3 e densidade 1 e fator de copa 2 e densidade 2 dos

louros sob competição. Verifica-se também similaridade de tendências de crescimento entre os louros livres do grupo fac2 dec3 e sob competição fac4 dec3*, indicando nesse caso que, apesar dos louros solitários apresentarem copas com maior percentagem de falhas, estes cresceram de forma semelhante aos louros sob competição com menos falhas na copa e mesma densidade de folhas. Comparando os grupos fac2 dec1 dos louros livres e fac3 dec3* dos louros sob competição, também se pode averiguar similaridade de tendências, apesar dos louros livres se apresentarem com mais falhas e menos folhas na copa.

Cabe destacar que, para um mesmo grupo, houve grande diferença de incremento entre os louros livres e sob competição, ou seja, para árvores livres com mesma percentagem de falhas e densidade de folhas na copa cresceram de forma substancialmente diferentes que as sob competição, demonstrando que o louro-pardo quando não está recebendo nenhum tipo de concorrência, seja aérea (pela luz) ou subterrânea (pelos nutrientes e água), possui elevado incremento em área basal, mesmo tendo as mesmas características de copa.

Então, além de utilizar o diâmetro à altura do peito, as variáveis qualitativas como fator e densidade de copa para explicar o incremento, buscou-se estudar uma característica que diferenciasse um louro que cresce solitário de outro que cresce em uma floresta: a competição.

Em vista disso, uma vez que a competição acima do solo concentra-se na área ocupada pelas copas, a competição radicular é difusa e quase imprevisível, sendo difícil usar um índice de competição para árvores individuais que inclua todos os competidores e fontes de competição por recursos escassos (TONINI, 2007). Como o grau de competição varia de acordo com a densidade populacional e visando remediar este problema, calculou-se o número de árvores por hectare baseado em quatro métodos diferentes.

A análise de correlação da Tabela 22 indica que o grau de esbeltez apresentou alta correlação com os seguintes números de árvores por hectare calculadas: $N/ha_{(Pr)}$, $N/ha_{(GBit)}$, $N/ha_{(GSp)}$, demonstrando que, por ser uma correlação positiva, à medida que aumenta o número de árvores por hectare, a relação h/d também aumenta, ou seja, as árvores quando estão mais adensadas, tendem a crescer mais em altura do que em diâmetro .

É interessante observar que o incremento periódico anual em diâmetro apresentou correlação significativa e positiva com o número de árvores por hectare,

aumentando à medida que aumentou o número de árvores, isto porque, como visto anteriormente, os maiores incrementos em diâmetros se concentraram nas árvores que pertencem às menores classes de dap, e quanto menor o diâmetro, maior é a densidade (correlação negativa entre N/ha e dap).

Tabela 22 – Correlação de Pearson do número de árvores por hectare com as variáveis dendrométricas, morfométricas e qualitativas de *Cordia trichotoma* sob competição.

| Variável | N/ha _(Bit) | N/ha _(Pr) | N/ha _(GBit) | N/ha _(GSp) |
|----------|-----------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|
| dap | -0,48* | -0,48* | -0,73* | -0,74* |
| dc | -0,47* | -0,45* | -0,68* | -0,69* |
| ht | -0,55* | -0,53* | -0,72* | -0,68* |
| hic | 0,49* | -0,52* | -0,62* | -0,58* |
| hc | -0,39* | -0,40* | -0,50* | -0,47* |
| cc | -0,36* | -0,28* | -0,49* | -0,47* |
| ge | 0,45* | 0,88* | 0,82* | 0,88* |
| pc | -0,03 ^{ns} | -0,05 ^{ns} | -0,10 ^{ns} | -0,10 ^{ns} |
| is | 0,16 ^{ns} | 0,19 ^{ns} | 0,38* | 0,34* |
| ia | -0,29* | -0,28** | -0,48* | -0,54* |
| fc | -0,21 ^{ns} | -0,31* | -0,33* | -0,38* |
| IPAd | 0,39** | 0,52* | 0,45* | 0,43* |
| IPAg | -0,30* | -0,21* | -0,46* | -0,48* |
| fac | 0,10 ^{ns} | 0,16 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | -0,02 ^{ns} |
| dec | 0,25** | 0,32* | 0,27** | 0,26** |
| ci | -0,02 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | -0,21 ^{ns} | 0,18 ^{ns} |

Em que: N/ha_(Bit)= número de árvores por hectare calculado por Bitterlich; N/ha_(Pr)= número de árvores por hectare calculado por Prodan; N/ha_(GBit)= número de árvores por hectare calculado pela área basal de Bitterlich; N/ha_(GSp)= número de árvores por hectare calculado por Spurr; dap= diâmetro a altura do peito (cm); dc= diâmetro de copa (m); h= altura total (m); hic= altura do início da copa (m); hc= altura comercial (m); cc= comprimento de copa(m); ge= grau de esbeltez; pc= porcentagem de copa; is= índice de saliência; ia= índice de abrangência; fc= formal de copa; IPAd= incremento periódico anual em diâmetro; IPA g= incremento periódico anual em área basal; fac= fator de copa; dec= densidade de copa; ci= cipós; * = significância a 1 %; ** = significância a 5%.

O incremento em área basal apresentou correlação altamente significativa com o número de árvores por hectare, destacando-se as densidades calculadas pela área basal obtida pelo método de Bitterlich (N/ha_(GBit)) e Spurr (N/ha_(GSp)).

O incremento em área basal e o diâmetro a altura do peito, resultou em uma correlação negativa com a densidade, isto porque, quanto menor for o diâmetro do louro-pardo, maior é o número de árvores de diferentes espécies que estão ocasionando uma ação competitiva sobre o mesmo, conseqüentemente, diminuindo

seu incremento em área basal. Com isso, à medida que aumenta a densidade, tende a diminuir o incremento em área basal (Figura 25).

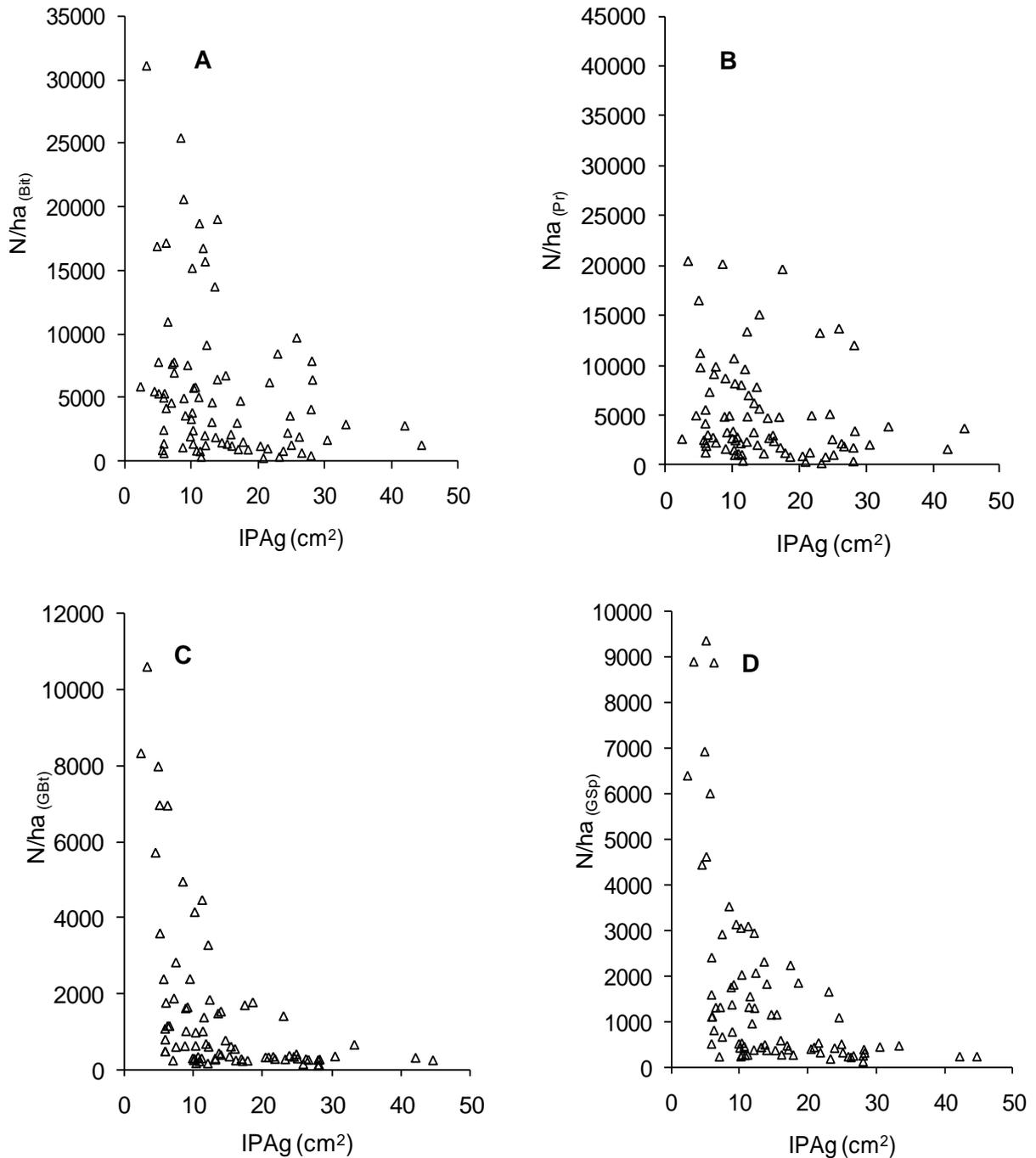


Figura 25 – Valores do número de árvores por hectare em relação ao incremento de *Cordia trichotoma* sob competição na região central do estado do Rio Grande do Sul.

Com base nisso, vale destacar a importância do correto manejo desta espécie, tanto em plantios puros, como também nas florestas nativas objetivando a maior produtividade, pois com intervenções adequadas, principalmente quanto à densidade, esta espécie pode chegar a ultrapassar o dobro do seu crescimento quando comparado ao crescimento que obtém em condições de alta competição.

Com intuito de incluir a variável competição nos modelos que descrevem o incremento em área basal dos louros sob competição e com isso relacionar com o incremento dos louros livres de competição, aplicou-se o modelo que prediz o incremento desta espécie em condições ótimas, ou seja, livre de competição ($IPA_g = 0,6665 \cdot e^{0,0725 \cdot (fac \cdot dec)} \cdot dap$) para os valores observados de incremento periódico anual em área basal dos louros sob competição (Figura 26).

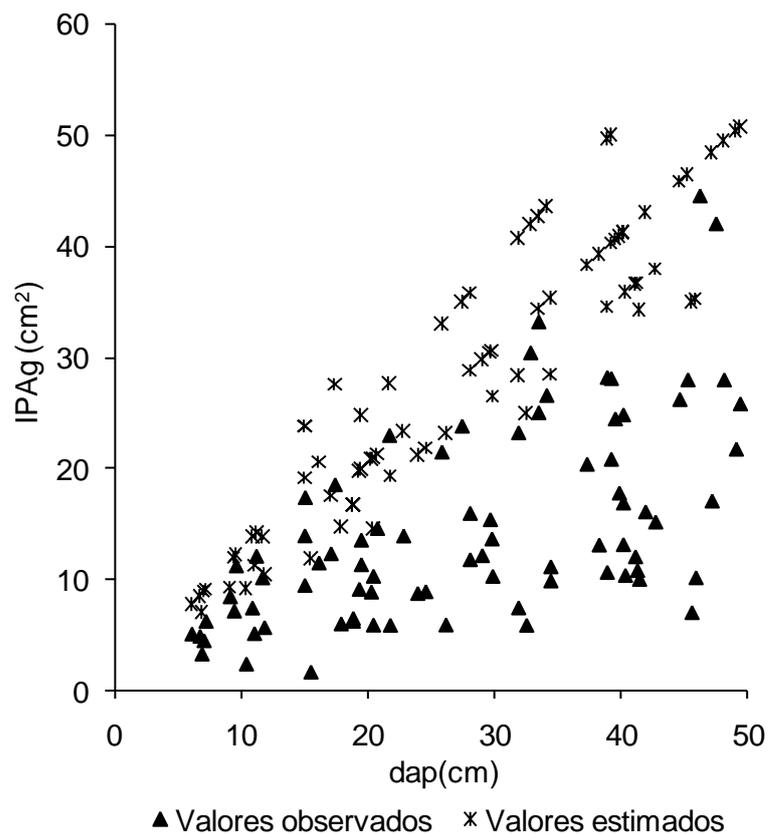


Figura 26 – Valores observados de incremento periódico anual em área basal dos louros sob competição e valores estimados obtidos a partir do modelo $IPA_g = 0,6665 \cdot e^{0,0725 \cdot (fac \cdot dec)} \cdot dap$.

Observa-se na Figura 26 que há uma visível diferença entre o real incremento do louro-pardo sob competição com o incremento que este poderia chegar a atingir caso não existisse a concorrência por água, luz e nutrientes com as demais espécies na floresta.

Essa diferença de incrementos resultante da subtração dos incrementos dos louros sob competição estimados pelo modelo $IPAg = 0,6665 \cdot e^{0,0725 \cdot (\text{fac.dec})} \cdot \text{dap}$ com os incrementos observados, está significativamente correlacionada com a competição, sendo expressa neste estudo pelo número de árvores por hectare (Tabela 23), destacando-se as maiores correlações com o número de árvores calculados pela área basal obtida pelo método de Bitterlich ($N/ha_{(GBit)}$) e de Spurr ($N/ha_{(GSp)}$).

Tabela 23 – Correlação de Pearson dos diferentes números de árvores por hectare com a diferença de incremento periódico anual em área basal.

| Variável | $N/ha_{(Bit)}$ | $N/ha_{(Pr)}$ | $N/ha_{(GBit)}$ | $N/ha_{(GSp)}$ |
|---------------------------|----------------|---------------|-----------------|----------------|
| Diferença IPAg (cm^2) | -0,40* | -0,44* | -0,64* | -0,64* |

Em que IPAg (cm^2) = incremento periódico anual; $N/ha_{(Bit)}$ = número de árvores por hectare calculado por Bitterlich; $N/ha_{(Pr)}$ = número de árvores por hectare calculado por Prodan; $N/ha_{(GBit)}$ = número de árvores por hectare calculado pela área basal de Bitterlich; $N/ha_{(GSp)}$ = número de árvores por hectare calculado por Spurr.

Com as duas melhores correlações selecionadas entre o incremento e o número de árvores por hectare, foi procedida uma análise de regressão com o objetivo de ajustar modelos que descrevessem a diferença de incrementos (Figura 27).

Na Figura 27, verifica-se que o modelo $y = 562,28x^{-0,585}$, que utilizou como variável dependente número de árvores por hectare calculado pela área basal obtida pelo método de Bitterlich (Figura 27 A; A.1) foi o que apresentou melhor ajuste comparado ao modelo que utilizou o número por hectare calculado pela área basal obtida pelo método de Spurr (Figura 27 B; B.1), com maior coeficiente de determinação (R_{aj}), menor coeficiente de variação (CV) e melhor distribuição dos resíduos, sendo este modelo o escolhido para predizer a diferença entre os incrementos dos louros sob competição estimados pelo modelo $IPAg = 0,6665 \cdot e^{0,0725 \cdot (\text{fac.dec})} \cdot \text{dap}$ e os incrementos observados.

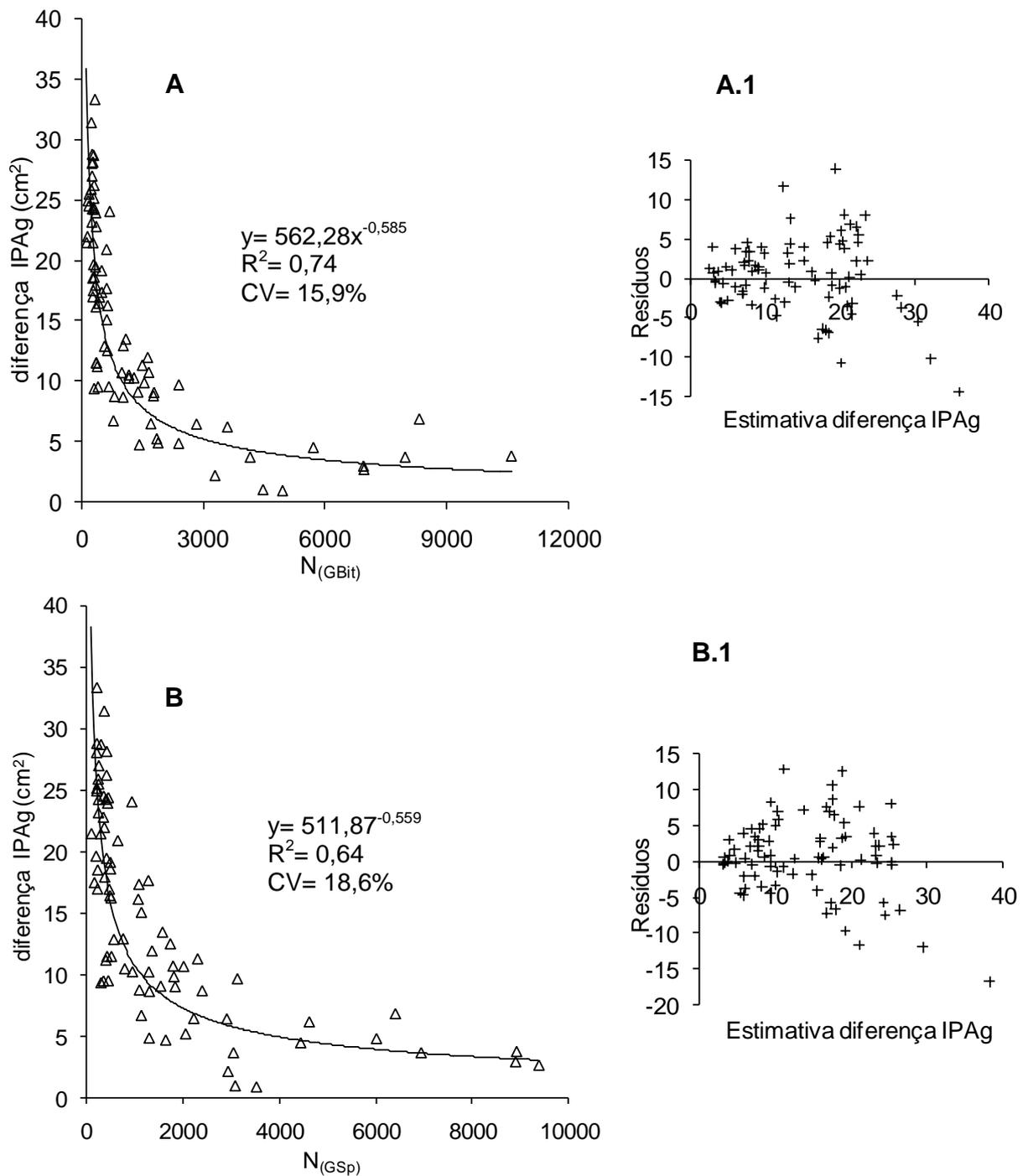


Figura 27 – Ajuste dos modelos e distribuição dos resíduos para a diferença de incremento periódico anual em área basal dos louros sob competição em função número de árvores por hectare calculados pela área basal obtida pelo método de Bitterlich (A; A.1) e de Spurr (B; B.1) respectivamente.

Sendo assim, como o modelo $0,6665 e^{0,0725 \cdot (\text{fac.dec})}$. dap descreve o incremento do louro-pardo livre de competição e o modelo $562,28 \cdot (N_{(GBit)})^{-0,585}$ descreve a influência da competição sobre esta espécie. Com isso, diferença das

estimativas geradas por estes dois modelos podem ser utilizadas para prever incremento periódico anual em área basal do louro-pardo sob competição, servindo o segundo modelo como um efeito redutor sobre o incremento, resultando no seguinte modelo geral:

$$IPA_g = [(0,6665 e^{0,0725 \cdot (\text{fac.dec})} \cdot \text{dap})] - [562,28 \cdot (N_{(\text{GBit})})^{-0,585}]$$

O modelo gerou boas estimativas, como pode ser observado pela Figura 28-A e B, exceto para os indivíduos com incrementos de 46 e 47 cm², onde verifica-se superestimativas para esses valores. Isto ocorreu, muito provavelmente, pois não havia concorrência na copa desses indivíduos e sim somente abaixo dela, ou seja, esses indivíduos não estavam competindo por luminosidade, já que suas copas estavam mais liberadas, e sim por água e nutrientes. Com isso, estes indivíduos atingiram elevado incremento, chegando a se aproximar ao incremento atingido pelos louros livres, onde o desconto gerado pela competição ($N_{(\text{GBit})}$) no modelo pouco contribuiu para diferir do louro-pardo livre de competição do incremento do louro-pardo crescendo sob competição.

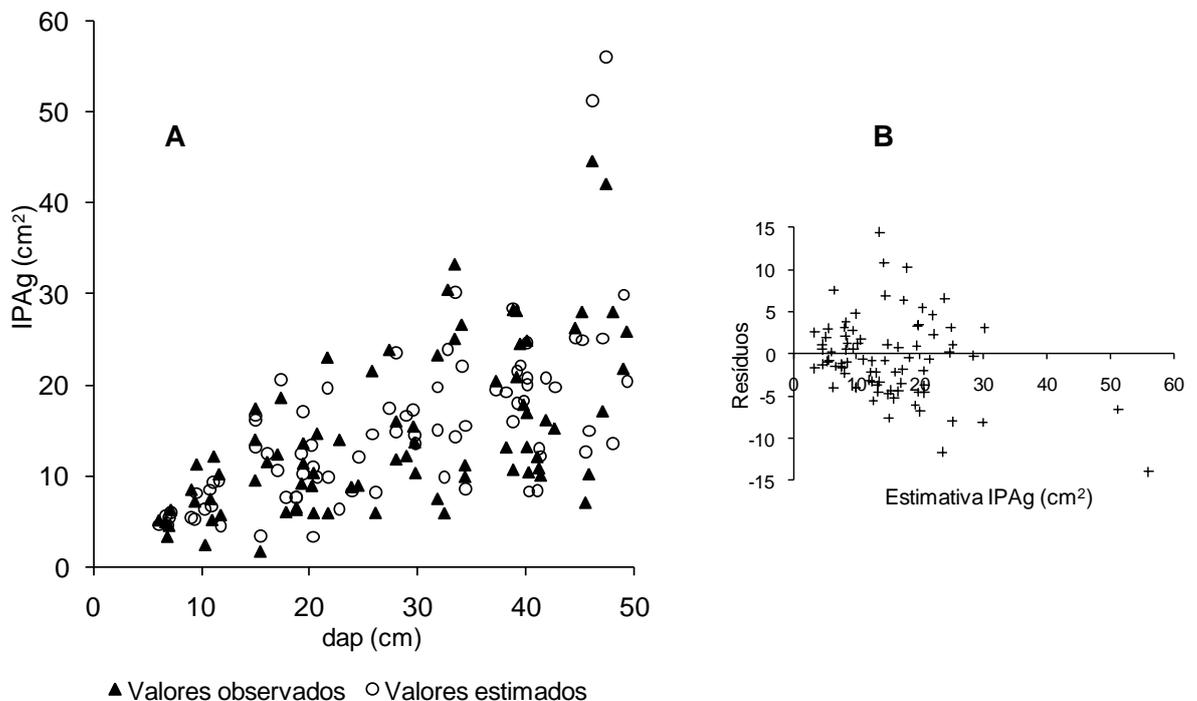


Figura 28 – Distribuição dos valores observados e estimados (A) e dos resíduos (B) do modelo $IPA_g = [(0,6665 e^{0,0725 \cdot (\text{fac.dec})} \cdot \text{dap})] - [562,28 \cdot (N_{(\text{GBit})})^{-0,585}]$ para *Cordia trichotoma* sob competição na região central do estado do Rio Grande do Sul.

Outra forma utilizada para o cálculo do incremento em área basal do louro-pardo sob competição foi considerando o fator de copa e a densidade de copa como variáveis contínuas, em que a regressão resultante contempla além das variáveis dimensionais e qualitativas da copa, o número de árvores por hectare calculado como indicador de competição $N_{(G\text{Bit})}$. Sendo assim, o modelo resultante para prever o incremento periódico anual em área basal dos louros sob competição é:

$$\ln \text{IPA}_g = 0,5456 \cdot \ln \text{dap} + 0,1412 \cdot (\text{fac} \cdot \text{dec}) - 0,00008905 \cdot N_{(G\text{Bit})}$$

O número de árvores calculado pela área basal obtida por Bitterlich foi altamente significativo no modelo, sendo esta a variável de competição novamente utilizada para descrever o incremento em área basal. Este modelo gerou boa distribuição dos valores observados em relação aos estimados como também dos resíduos (Figura 29 - A e B), no entanto, não contemplou nenhuma relação com o incremento dos louros livres de competição.

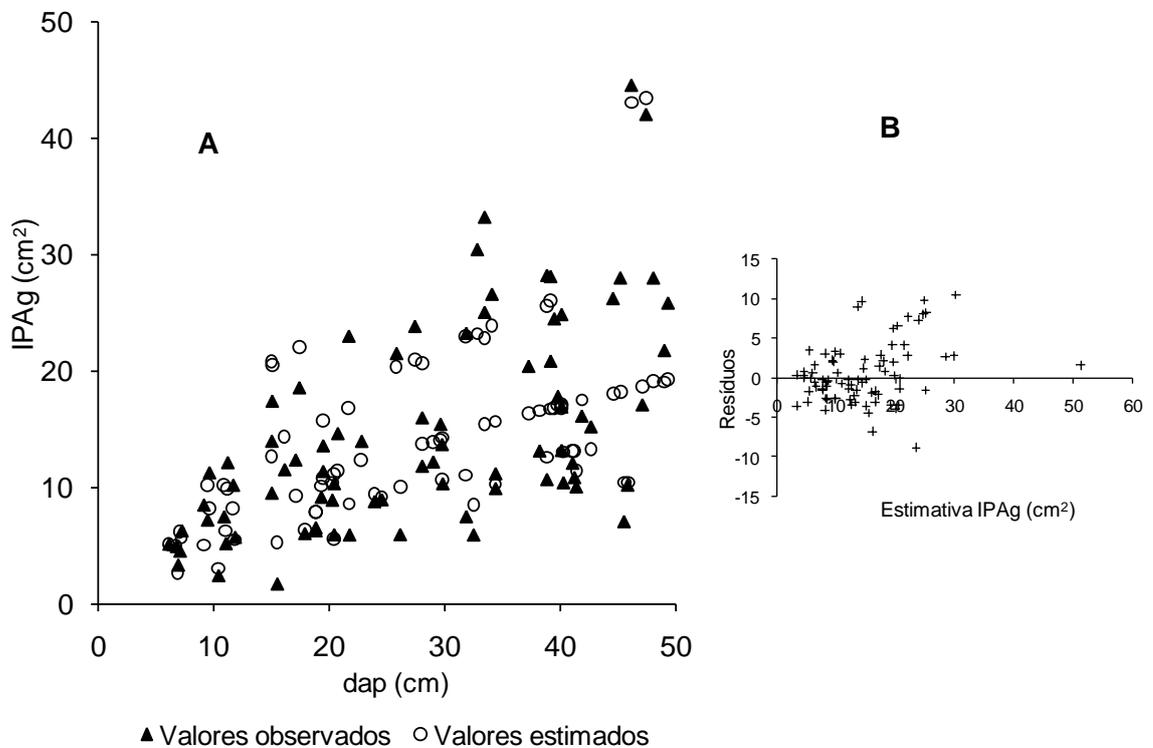


Figura 29 – Distribuição dos valores observados e estimados (A) e dos resíduos (B) do modelo $\ln \text{IPA}_g = 0,5456 \cdot \ln \text{dap} + 0,1412 \cdot \text{fac} \cdot \text{dec} - 0,00008905 \cdot N_{(G\text{Bit})}$ para *Cordia trichotoma* sob competição na região central do estado do Rio Grande do Sul.

Cabe ressaltar que, o modelo proposto transforma a variável dependente (IPAg) e independente (dap) para a forma logarítmica, já que este foi o que apresentou melhores ajustes, pois o modelo testado sem a transformação das variáveis subestimou os incrementos menores de 10 cm², gerando valores de incrementos negativos.

Comparando os modelos propostos para estimar o incremento periódico anual dos louros sob competição em função do dap, características qualitativas da copa e competição (Tabela 24), verifica-se que os dois modelos apresentaram bons ajustes, no entanto o segundo modelo pelo qual não tem relação com as árvores livres de competição e considerou as variáveis qualitativas como contínuas, apresentou melhores critérios estatísticos que o primeiro, com valores menores de tendência absoluta (Bias) e desvio padrão residual (S) e valor maior da eficiência (E) maior.

Tabela 24 – Critérios estatísticos dos modelos para estimar o incremento periódico anual em área basal de *Cordia trichotoma* sob competição.

| N | Modelo | Bias | E | S |
|---|--|-------|------|------|
| 1 | $IPA_g = [(0,6665 e^{0,0725 \cdot (fac \cdot dec)} \cdot dap)] - [562,28 \cdot (N_{(GBit)})^{-0,585}]$ | -0,54 | 0,71 | 4,75 |
| 2 | $\ln IPA_g = 0,5456 \cdot \ln dap + 0,1412 \cdot (fac \cdot dec) - 0,00008905 \cdot N_{(GBit)}$ | -0,47 | 0,81 | 3,87 |

Em que: Bias = tendência absoluta; E= eficiência; S= desvio padrão residual; dap = diâmetro a altura do peito; IPAg= Incremento periódico anual em área basal; fac = fator de copa; dec = densidade de copa; $N/ha_{(GBit)}$ = número de árvores por hectare calculado pela área basal de Bitterlich.

Chassot (2009) estudando *Araucaria angustifolia* observou que, apesar de os índices de concorrência (BAL e Glover e Hool) ter uma alta correlação com o diâmetro, estes não entraram no modelo de regressão, demonstrando que esses índices, da maneira como foram calculados, não conseguem expressar o crescimento, tendo assim sua utilidade comprometida em uso para modelagens de árvores individuais.

Já para Mattos (2007), o melhor modelo que descreveu o incremento periódico anual em área basal de *Cordia trichotoma* continha como variáveis independentes o diâmetro a altura do peito, o índice de concorrência de BAL e formal de copa e para Della-Flora (2001), foram incluídas as variáveis dap, BAL, posição sociológica e variáveis de sítio para descrever o incremento de *Ocotea puberula* e *Nectandra megapotamica*.

Zanon (2007), ao modelar o incremento em área basal de *Araucaria angustifolia* em São Francisco de Paula, verificou que os modelos mostraram bons ajustes quando separados por grupos de árvores discriminados pelas variáveis: circunferência à altura do peito, vitalidade, área de copa e índice de concorrência de Glover e Hool.

5 CONCLUSÕES

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

a) O louro-pardo quando cresce sob competição, apresenta algumas características dimensionais semelhantes ao que se desenvolve livre de competição com outras espécies na floresta nativa, como por exemplo, o diâmetro a altura do peito (dap), o diâmetro de copa (dc) e o índice de saliência (is);

b) Quando sob competição, esta espécie investe mais em altura total (h), altura comercial (hc), altura de início da copa (hic), porém, apresenta menor comprimento de copa (cc), percentagem de copa (pc) e índice de abrangência (ia).

c) Pode ser utilizado um único modelo para descrever a relação entre o diâmetro de copa e o diâmetro à altura do peito dos louros nas duas condições (sob competição e livres), pois não houve diferença de tendência e nível do modelo que descreve esta relação.

d) Existe igualdade de inclinações e diferença de níveis das curvas que descrevem a altura total e o comprimento de copa em função do diâmetro à altura do peito, indicando a necessidade de usar modelos distintos para descrever estas relações entre os louros livres e sob competição.

e) O modelo que descreve a relação entre o grau de esbeltez e o diâmetro à altura do peito entre os louros livres e sob competição diferiu em inclinação, sendo necessária a utilização de modelos distintos para descrevê-la.

f) Os louros que crescem livres de competição apresentam incrementos bem superiores e significativamente diferentes quando comparados aos sob competição, sendo que, o incremento periódico anual médio em diâmetro (IPAd) dos louros livres, ultrapassa o dobro e em área basal (IPAg) atinge quase o triplo do valor quando comparado com os louros sob competição.

g) A variável dimensional dap foi selecionada para prever o incremento periódico anual em área basal dos louros livres e sob competição, no entanto, somente esta variável no modelo não é capaz de explicar a variação de incrementos para um mesmo diâmetro.

h) O incremento periódico anual em área basal desta espécie livre de competição pode ser predito pelo dap, pelo fator de copa (fac) e densidade de copa

(dec) a partir de dois modelos distintos, sendo que o modelo pelo qual utiliza as características qualitativas da copa como variáveis discretas para determinar o coeficiente angular, demonstra ser mais adequado para prever o incremento periódico anual em área basal dos louros livres de competição.

i) Os modelos que estimam o incremento periódico anual em área basal do louro-pardo sob competição a partir do dap, das características qualitativas da copa (fator e densidade de copa) e do número de árvores calculado pela área basal obtida método de Bitterlich ($N_{(G\text{Bit})}$) apresentam bons ajustes, no entanto, o modelo que não contempla relação com as árvores livres de competição apresenta algumas vantagens quando comparado ao modelo que descreve esta relação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É importante destacar a relevância do estudo e o emprego da variável competição nos modelos de predição de incremento do louro-pardo, visto que a concorrência possibilita que sejam eliminados alguns efeitos indesejados, pois o louro-pardo quando cresce livre de competição possui características menos atrativas para a produção madeireira e aproveitamento do fuste, sendo que, quando comparados aos sob competição, apresentam-se mais baixos, com elevado comprimento de copa, com maior número de galhos, e, conseqüentemente, com menor altura comercial. Apesar disso, os mesmos quando não estão recebendo nenhum tipo de concorrência, seja aérea (pela luz) ou subterrânea (pelos nutrientes e água), possuem maior incremento em área basal.

Então, é interessante que haja competição no desenvolvimento do louro-pardo, principalmente na fase inicial, para que o mesmo invista no crescimento em altura, já que a espécie é heliófila, tendendo a buscar maior luminosidade na sua copa quando está crescendo sob concorrência e também apresentando maior desrama natural, no entanto, esta competição deve ser de tal intensidade que não reduza demasiadamente o incremento, resultando em indivíduos com maior valor comercial, combinando assim com os aspectos de qualidade da madeira. Com isso, ressalta-se a importância do estudo e relação do comportamento do louro-pardo livre e sob competição quando se deseja predizer o seu incremento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARANDA, U. D. et al. **Dendrometría**. Madrid: Mundi Prensa, 2003. 327 p.
- BACKES, P.; IRGANG, B. **Árvores do Sul**: guia de identificação e interesse ecológico. 1. ed.. [S.l.]: Instituto Souza Cruz, 2002. 326 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. 3.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 548p.
- CARVALHO, P. E. R. Louro-pardo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 17. p.63-66. 1988.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras**: recomendações silviculturais, potencialidades e usos da madeira. Colombo: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, 1994. 640p.
- CARVALHO, P. E. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, v. 1, 2003. 1039 p.
- CHASSOT, T. **Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze na floresta ombrófila mista**. Santa Maria, 2009. 48 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, 2009.
- CUNHA, T. A. **Modelagem do incremento de árvores individuais de *Cedrela odorata* L. na floresta amazônica**. 2009. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.
- DELLA-FLORA, J. B. **Modelos de crescimento para árvores singulares – *Nectandra magapotamica* (Spreng) Mez. e *Ocotea puberula* Ness**. 2001. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

DELLA-FLORA, J. B.; DURLO, M. A.; SPATHELF, P. Modelo de incremento para árvores singulares – *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez. Santa Maria: **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.14, n.1, p. 165-177, 2004.

DURLO, M. A. **Zuwachsuntersuchungen und Einzelbaumwachstumsmodelle für *Cabralea glaberrima*, *Cedrela fissilis* und *Cordia trichotoma* in sekundären Laubmischwäldern Südbrasilien**. 1996. 175 f. Dissertation (Doctor) - Universität für Bodenkultur, Institut für Waldwachstumsforschung, Wien, 1996.

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

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, 1998.

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

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

EINSPIELER, H. **Waldwachstumskundliche Untersuchungen von *Cabralea canjerana*, *Cedrela fissilis* und *Cordia trichotoma* in sekundären Laubmischwäldern im zentralen Rio Grande do Sul, Brasilien**. Wien: Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Institut für Waldwachstumsforschung, 2002.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de Biometria Florestal**. 1. ed., Santa Maria:CEPEF, 1992 .269p.

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

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

GOOGLE EARTH, Software, v. 4.3.7191.6508, EUA. 2008. Acesso em 15 de setembro de 2012.

HASENAUER, H. Ein **Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Fichten- Kiefern- und Buchen-Fichtenmischbestände**. Wien: Universität für Bodenkultur, Institut für Waldwachstumsforschung, 1994. v. 8.

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

HILEY, W. E. **Conifers: South African methods of cultivation**. London: Faber and Faber, 1959. 123 p.

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

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**, Xalapa, v. 1, n. 2, p. 23-36, May./Sep. 1995.

MATTOS, P. P. **Identificação de anéis anuais de crescimento e estimativa de idade e incremento anual em diâmetro de espécies nativas do Pantanal da Nhecolândia, MS**. 1999. 116f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

MATTOS, R. B. **Produtividade e incremento de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart., *Cedrela fissilis* Vell. e *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. Ex Steud., em floresta nativa no Rio Grande do Sul**. 2007. 105 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MEYER, E. A. **Densidade de árvores por diâmetro na floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul**. 2011. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

MENDONÇA, E. A. F.; RAMOS, N. P.; PAULA, R. C. Viabilidade de sementes de *Cordia trichotoma* (Vellozo) Arrabida ex Steudel (louro pardo) pelo teste de tetrazólio. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 23, n. 2, p. 64-71, 2001.

MOORE, J. A.; BUDELSKY, C. A.; SCHLESINGER, R. C. A new index representing individual tree competitive status. **Can. J. For. Res**, Canada, v. 3, n. 4, p. 495-500, 1973.

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

OPIE, J. E. Predictability of individual tree growth using definitions of competing basal area. **For. Sci.**, v. 14, p. 314-323, 1968.

PEREIRA, L. D. **Dendroecologia de *Cedrela fissilis* (Vell.) na região de Santa Maria, RS**. 2011. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

PRODAN, M. **Holzmesselehre**. Frankfurt: j. d. Sauerländer'S Verlag, 1965. 644 p.

REITZ, R., KLEIN, R. M., REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria de Agricultura e Abastecimento, 1983. 524p.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Governo do Estado do RS, 1988. 525p.

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

SANQUETTA, C. R. **Fundamentos biométricos dos modelos de simulação florestal**. Curitiba: FUPEF, 1996. (Série Didática, 8)

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

SCHEREN, L. W.; et al. Crescimento do louro-pardo, *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. Ex Steud., na Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 169-176, 2002.

SCHEEREN, L. W. et al. Crescimento de canela-lageana, *Ocotea pulchella* Nees et Mart. Ex Nees, na Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 137-144. 2003.

SCHNEIDER, P. R. Forma de Tronco e Sortimentos para *Pinus elliottii* Engelm., da Floresta Nacional de Passo Fundo Rio Grande do Sul. **Acta For Bras**, Curitiba, n. 1, p. 43-64, 1986.

SCHNEIDER, P. R. **Manejo Florestal**: planejamento da produção florestal. Santa Maria: UFSM, 2002. 492 p.

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

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. de. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2. ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2009. 294 p.

SCOLFORO, J. R. **Modelos para expressar o crescimento e a produção florestal**: Parte 1. Lavras: ESAL / FAEPE, 1994. 182 p.

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

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, v. 21, n. 1, p.14-21, 2009.

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

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

STERBA, H. **Waldwachstumskunde**: Skriptum zur Lehrveranstaltung 420.020.Wien:Universitätfür Bodenkultur, Institutfür Waldwachstumforschung, 2006, 129 p.

STRECK, E. D. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222 p.

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

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.

TONINI, H. **Índices de competição e seu uso na modelagem do crescimento das árvores**. Boa Vista: EMBRAPA, 2007.

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).

VACCARO, S. et al. Incremento em área basal de árvores de uma floresta estacional decidual, em três fases sucessionais, no município de Santa Tereza, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 131-142. 2003.

VANCLAY, J. K. **Modelling Forest Growth and Yield: applications to mixed tropical Forests**. Wallingford: CAB International, 1994.

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

WEST, P. W. Use of diameter increment and basal area increment in tree growth studies. **Can. J. For. Res**, Canada, v. 10, p. 71-77, 1980.

WIMBERLY, M. C.; BARE, B. B. Distance-dependent and distance-independent models of Douglas-fir and western hemlock basal area growth following silvicultural treatment. **Forest Ecology and Management**, v. 89, p. 1-11, 1996.

ZANON, M. L. B. **Crescimento da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze diferenciado por dioicia**. 2007. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.