



**COMPETIÇÃO E MODELAGEM FLORESTAL EM FRAGMENTO  
DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL SUBMONTANA,  
MG**

**ILVAN MEDEIROS LUSTOSA JUNIOR**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA-U<sub>n</sub>B**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**COMPETIÇÃO E MODELAGEM FLORESTAL EM FRAGMENTO  
DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL SUBMONTANA,  
MG**

**ILVAN MEDEIROS LUSTOSA JUNIOR**

**ORIENTADOR: Dr. RENATO VINÍCIUS OLIVEIRA CASTRO  
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**PUBLICAÇÃO: PPGEFL.DM-267/2016  
BRASÍLIA/ DF FEVEREIRO DE 2016**

**Brasília, 26 de fevereiro de 2016**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**“Competição e modelagem florestal em fragmento de  
floresta estacional semidecidual submontana, MG”**

**ILVAN MEDEIROS LUSTOSA JÚNIOR**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO SUBMETIDA AO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, DO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL, DA FACULDADE DE  
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

APROVADA POR:

  
Prof<sup>o</sup> Dr. RENATO VINÍCIUS OLIVEIRA CASTRO (Departamento de  
Engenharia Florestal – EFL/UnB);  
(Orientador)

  
Prof<sup>o</sup> Dr. RICARDO DE OLIVEIRA GASPAR (Departamento de Engenharia  
Florestal – EFL/UnB);  
(Examinador Interno)

  
Dra. FABIANA DE GÓIS AQUINO (Empresa Brasileira de Pesquisa  
Agropecuária – Embrapa);  
(Examinador Externo)

Prof<sup>o</sup> Dr. MAURO ELOI NAPPO (Departamento de Engenharia Florestal –  
EFL/UnB).  
(Examinador Suplente)

Brasília, 26 de fevereiro de 2016

## FICHA CATALOGRÁFICA

LL972c	Lustosa Junior, Ilvan Medeiros Competição e modelagem florestal em fragmento de floresta estacional semidecidual submontana, MG / Ilvan Medeiros Lustosa Junior; orientador Renato Vinícius Oliveira Castro. -- Brasília, 2016. 82 p.  Dissertação (Mestrado - Mestrado em Ciências Florestais) -- Universidade de Brasília, 2016.  1. Competição florestal. 2. Modelagem florestal. 3. Crescimento dendrométrico. 4. Redes neurais artificiais. I. Castro, Renato Vinícius Oliveira, orient. II. Título.
--------	---

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LUSTOSA JUNIOR, I. M. 2016. **Competição e modelagem florestal em fragmento de floresta estacional semidecidual submontana, MG**. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.DM-267/2016. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 80 f.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Ilvan Medeiros Lustosa Junior

TÍTULO: Competição e modelagem florestal em fragmento de floresta estacional semidecidual submontana, MG

GRAU: Mestre ANO: 2016

É concedido à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Ilvan Medeiros Lustosa Junior  
*ilvanjunior@gmail.com*

## **Dedicatória**

*Aos meus pais, Vanci e Neno,  
por serem meu alicerce e os idealizadores de todas as minhas  
conquistas.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me concedido o dom da vida e por ser Ele o guia de todos os meus caminhos. A Ele toda honra e toda glória hoje e sempre.

Aos meus Pais, Vanci Guerra de Macêdo Medeiros e Ilvan Medeiros Lustosa (Neno), por serem a minha base e por enxergarem em minhas as realizações, motivo de orgulho pessoal.

Ao meu Irmão, Cláudio Guerra de Macêdo Medeiros, que de uma forma ímpar, torce pelo meu sucesso em qualquer circunstância.

Ao meu Orientador, Renato Vinícius Oliveira Castro, que teve a paciência de me transmitir os seus ensinamentos e me tranquilizar, com um otimismo inigualável, nos momentos de desespero. O meu sincero muito obrigado.

À Rarice, Felipe, Raiane e Dudu, por me acolherem em Brasília como uma verdadeira família e que fizeram dos meus dias nesse lugar, os mais descontraídos.

À Maísa Isabela Rodrigues e Juliana Baldan Costa Neves Araújo, pela cumplicidade, carinho, conselhos e o café de todos os dias. A UnB não poderia ter me dado melhores amizades.

À Genilda Canuto Amaral, por ter sido uma Amiga fiel, além de ser uma ótima companhia de viagens. Começamos essa trajetória acadêmica juntos, ambos egressos da UFPI, e daí pudemos descobrir as facetas da cidade grande (e até de outro país). Espero cultivar o verdadeiro significado da amizade por todo o sempre. Obrigado por tudo, Gê.

Aos Amigos e companheiros da graduação e pós-graduação da UnB pela convivência diária: Joabel, Leônidas, Lidiomar, Erica, Ludovico, Jéssica, Adriano, Fabrícia, Milton, Sílvia, Glauce, Gileno, Fabiana, Marco, Ângela, Luíza, Marina e Nathalia.

Ao professor Ricardo de Oliveira Gaspar, por ter disponibilizado o banco de dados empregado no presente estudo e por ter contribuído de forma significativa na minha produção científica durante o Mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro.

Ao departamento de engenharia florestal da UnB, nas pessoas do Chiquinho e Thiago, que sempre me deram suporte quando o precisei.

Aos demais que, direta ou indiretamente, contribuíram de alguma uma forma para a concretização de mais um degrau acadêmico, o meu muito obrigado.

## EPÍGRAFE

*“Ainda que eu falasse as línguas dos homens e dos anjos, e não tivesse amor, seria como o metal que soa ou como o sino que tine. E ainda que tivesse o dom de profecia, e conhecesse todos os mistérios e toda a ciência, e ainda que tivesse toda a fé, de maneira tal que transportasse os montes, e não tivesse amor, nada seria.”*

**1 Coríntios 13:2**

# **COMPETIÇÃO E MODELAGEM FLORESTAL EM FRAGMENTO DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL SUBMONTANA, MG**

**Autor: Ilvan Medeiros Lustosa Junior**

**Orientador: Prof. Dr. Renato Vinícius Oliveira Castro**

**Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais**

**Brasília, 26 fevereiro de 2016.**

A Mata atlântica vem sendo alvo constante no uso demasiado de recursos naturais, não obstante, o componente florestal tem sido explorado de forma insustentável, promovendo um alto grau de degradação ambiental no Bioma. Conhecer o comportamento arbóreo, num determinado intervalo de tempo, permite fornecer subsídios científicos na fundamentação de políticas de conservação e manejo florestal. A competição florestal é um dos fatores que influenciam no crescimento e longevidade dos indivíduos arbóreos, e é decorrente da demanda por recursos essenciais, tais quais, água, luz e nutrientes. Portanto, objetivou-se com o presente estudo, analisar a influência da competição florestal, por meio de índices de competição independentes e semidependentes de distância (raios de 2, 3, 4, 5 e 6 metros), no crescimento dendrométrico e agregar os aspectos competitivos na projeção, através de modelos tradicionais e redes neurais artificiais, em fragmento de Floresta Estacional Semidecidual, MG. Para tal estudo foi realizada uma classificação dos indivíduos em grupos ecológicos e de acordo a exigência por luz, visando avaliar se o cálculo da competição é mais significativo ao ser avaliado para cada grupo, ao invés da análise generalizada para todas as espécies do fragmento em estudo. Avaliar a competição por grupo ecológico se mostrou mais eficaz, visto que apresentou correlações superiores. O índice independente BAL obteve o melhor desempenho para analisar a influência da competição no crescimento dos indivíduos no fragmento estudado. Projetar o crescimento dendrométrico por Redes Neurais Artificiais foi mais eficiente que por modelos de regressões tradicionais.

**Palavras chave:** Mata atlântica; Crescimento florestal; Redes Neurais Artificiais.



# **COMPETITION AND MODELING IN A FRAGMENT OF SEMI-DECIDUOUS SEASONAL FOREST IN MINAS GERAIS**

## **ABSTRACT**

The Atlantic Forest natural resources have been largely explored, regardless; the forest is used in an unsustainable way, provoking an elevated level of damage in the Biome. Knowing the arboreal behavior, in a certain period, allows providing scientific grants for conservation and forestry management policies. The forestry competition is one of the factors that influence on the growth and longevity of the specimens, and is due the demand for essential resources, such as, water, light and nutrients. Therefore, this research aimed to analyze how the forestry competition affects the dendrometric measurements, by using distance independent and distance semi-independent competition indexes (radius at 2, 3, 4, 5 and 6 meters), and to aggregate the competitive aspects on the projection, through traditional models and neural artificial networks, in a Semi-Deciduous Seasonal Forest, in Minas Gerais (Brazil). In this study was carried out a classification of individuals according to their ecological groups and their light demand, in order to evaluate whether the calculation of the competition is more significant when evaluated for each group, rather than the generalized analysis to all species of the fragment under study. To evaluate the competition per ecologic group was more efficient, since it presented superior correlations. The BAL independent index obtained the best performance to analyze the influence of the competition on the specimens' growth on the fragment studied. Projecting the dendrometric measurement using Neural Artificial Networks was more efficient than the traditional means.

**Author: Ilvan Medeiros Lustosa Junior**  
**Advisor: Prof. Dr Renato Vinícius Oliveira Castro**  
**Postgraduate program in Forest Sciences**  
**Brasília, 26 february of 2016**

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>3</b>
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
3.1. FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL.....	3
3.2. COMPETIÇÃO FLORESTAL .....	5
3.3. CLASSIFICAÇÃO DE ESPÉCIES QUANTO A EXIGÊNCIA POR LUZ .....	8
3.5. ÍNDICES DE COMPETIÇÃO FLORESTAL .....	10
3.4. MODELAGEM DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO FLORESTAL .....	14
<b>CAPÍTULO 1 - ÍNDICES DE COMPETIÇÃO NA AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO ARBÓREO EM FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL SUBMONTANA .....</b>	<b>17</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>19</b>
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	19
2.2 ÍNDICES DE COMPETIÇÃO EMPREGADOS.....	20
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>23</b>
<b>4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>36</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>37</b>
<b>CAPÍTULO 2 - PROJEÇÃO DO CRESCIMENTO DENDROMÉTRICO EM FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL SUBMONTANA.....</b>	<b>48</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>48</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>50</b>
2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	50
2.2. APLICAÇÃO DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS (RNA).....	53
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>54</b>
<b>4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>68</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>69</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Modelo matemático de um neurônio (FERNEDA, 2006). .....	15
Figura 2- Raios de influência de 2, 3, 4, 5 e 6 metros empregados no cálculo dos índices semidependentes da distância. ....	21
Figura 3 - Índices de competição independentes e semidependentes da distância em função do crescimento periódico anual em diâmetro e altura. ....	27
Figura 4 - Gráficos da dispersão entre os valores observados e os valores estimados dos quatro modelos tradicionais empregados nas estimativas de DAP e H. ....	57
Figura 5 - Gráficos de distribuição dos resíduos dos ajustes dos quatro modelos tradicionais empregados nas estimativas de DAP e H. ....	58
Figura 6 - Gráficos da dispersão entre os valores observados e os valores estimados das redes 1 e 2. ....	62
Figura 7 - Gráficos da dispersão entre os valores observados e os valores estimados das redes 3 e 4. ....	63
Figura 8 - Gráficos de resíduos das redes 1 e 2 empregadas nas estimativas de DAP e H. ....	64
Figura 9 - Gráficos de resíduos das redes 3 e 4 empregadas nas estimativas de DAP e H. ....	65
Figura 10 - Gráficos das estatísticas de qualidade para os modelos tradicionais de crescimento e RNA, ambos obtidos no processo de validação. ....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Descrição dos dados levantados em fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, localizado em Caratinga – Minas Gerais, Brasil.....	19
Tabela 2- Índices de competição independentes da distância aplicados neste trabalho.	20
Tabela 3 – Relação dos DAP médio e H média e seus respectivos desvios padrão. ....	23
Tabela 4 - Correlações lineares, em percentagem, entre índices de competição independentes e semidependentes da distância, com diferentes raios de influência, e as variáveis $\Delta$ DAP e $\Delta$ Ht, para todos os indivíduos sem classificação por agrupamento.	28
Tabela 5 - Correlações lineares, em percentagem, entre índices de competição independentes e semidependentes da distância, com diferentes raios de influência, e as variáveis $\Delta$ DAP e $\Delta$ Ht, para os indivíduos classificados de acordo com o grupo ecológico.....	32
Tabela 6 - Correlações lineares, em percentagem, entre índices de competição independentes e semidependentes da distância, com diferentes raios de influência, e as variáveis $\Delta$ DAP e $\Delta$ Ht, para todos os indivíduos classificados de acordo a exigência por luz em heliófilas e umbrófilas. ....	34
Tabela 7 - Descrição dos dados levantados em fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, localizado em Caratinga - Minas Gerais, Brasil. ....	50
Tabela 8 - Índices de competição independentes e semidependentes da distância utilizados na modelagem do crescimento em diâmetro e em altura para o fragmento de floresta estacional semidecidual, MG.....	51
Tabela 9 - Modelos empregados na estimação das variáveis dendrométricas. ....	52
Tabela 10 - Variáveis utilizadas no treinamento das RNA para projeção do diâmetro (DAP), altura total (HT) de árvores individuais em uma Floresta Estacional Semidecidual Submontana, Caratinga - Minas Gerais. ....	53
Tabela 11 - Estatísticas de qualidade obtidas nos ajustes dos quatro modelos tradicionais. ....	55
Tabela 12 - Estatísticas de qualidade geradas da validação dos modelos 1 e 3. ....	58
Tabela 13 - Arquitetura das Redes Neurais Artificiais empregadas no treinamento para obtenção do DAP e H. ....	59
Tabela 14 - Estatísticas de qualidade das quatro melhores Redes Neurais Artificiais obtidas a partir do treinamento. ....	60
Tabela 15 - Estatísticas de qualidade geradas da validação da melhor RNA.....	66

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A Mata Atlântica foi uma das maiores florestas tropicais das Américas, cobrindo inicialmente, cerca de 150 milhões de hectares, em condições ambientais extremamente heterogêneas, se estendendo em regiões tropicais e subtropicais (CÂMARA, 2003).

Este Bioma vem sendo alvo constante da expansão agropecuária, o que acarreta no aumento significativo da exploração de áreas florestais de forma desordenada. No último levantamento dos remanescentes de Mata Atlântica no País, observou-se um total de desflorestamento (classe mata – remanescentes florestais), identificado nas áreas dos 17 estados que possuem este tipo de vegetação, no período de 2013 a 2014, foi de 18.267 hectares (SOS MATA ATLÂNTICA, 2015).

Os remanescentes de Mata Atlântica encontrados na Zona da Mata de Minas Gerais, representados pelas Florestas Estacionais Semidecíduais, se restringem a fragmentos de vegetação florestal em estágio secundário de sucessão (MEIRA NETO; SILVA, 1995; PINTO et al., 2008).

Os fragmentos em questão têm como característica peculiar a heterogeneidade florística associada a variações espaciais ambientais, que constitui um importante fator na coexistência de espécies arbóreas com diferentes exigências ecológicas, onde contribui para uma elevada diversidade (PINTO et al., 2008). Por conta da estrutura e composição florística inerentes a esse tipo de ambiente, o comportamento dos indivíduos arbóreos, em determinados intervalos de tempo, pode ser primordial para a conservação e manejo do Bioma.

A dinâmica florestal consiste em aspectos inerentes ao comportamento do componente arbóreo num determinado intervalo de tempo. O crescimento, ingresso e mortalidade, são parâmetros, que, segundo Ferreira (1997), podem ser utilizados na predição do desenvolvimento de uma floresta natural. Assim como os outros aspectos da dinâmica, o crescimento das florestais naturais está condicionado por fatores que compõem o meio biótico, bem como pelas intervenções silviculturais, pelos tipos e pela frequência do manejo.

Uma característica ecológica importante, relacionada à dinâmica, bem como ao crescimento florestal, que merece destaque por parte das pesquisas científicas é a competição pertinente às florestas tropicais. Uma vez que, entender como se comporta o crescimento dos indivíduos arbóreos sob a influência da presença de outros indivíduos é

imprescindível para subsidiar estudos para a conservação e uso sustentável destes recursos.

Nesse contexto, Fargione e Tilman (2002), afirmaram que o processo da competição e a coexistência afetam o agrupamento, a estrutura e a resposta de comunidades a distúrbios. Assim, tais mecanismos possuem diversas implicações ecológicas na biodiversidade e no funcionamento de ecossistemas.

A competição florestal pode ser empregada como variável na aplicação de técnicas de modelagem do crescimento do componente arbóreo. Porém, a agregação dos aspectos competitivos, índices de competição, na modelagem ainda é bem restrita a plantios equiâneos, se tornando uma metodologia ainda pouco empregada em trabalhos realizados em florestas naturais no país.

Os modelos de crescimento e produção, classificados em empíricos ou estatísticos, se baseiam em funções ajustadas a dados observados de uma amostra da população de interesse. Além desses, na literatura há, ainda, os modelos mecanísticos ou de processos, que, segundo Maestri (2013), possibilitam estimar o crescimento em volume, peso ou carbono de uma formação vegetal florestal em função do meio ambiente e de aspectos físicos ou ecológicos por incluir processos ou funções biológicas básicas na sua formulação.

Os principais modelos empíricos encontrados na literatura, empregados nas Ciências Florestais são: modelos de povoamento total, distribuição diamétrica e modelos a nível de árvore individual. Segundo Stoyan e Penttinen (2000), os modelos da última categoria são melhores para avaliar o comportamento do crescimento da árvore, pois consideram variáveis próprias da árvore (tamanho, espécie, entre outras variáveis), das árvores vizinhas, da floresta como um todo e de fatores ambientais.

Outras técnicas de modelagem, além dos tradicionais modelos de regressão lineares e não-lineares, têm ganhado cada vez mais notoriedade nas diversas áreas do conhecimento, não obstante, nas Ciências Florestais. De forma semelhante ao processamento do pensamento humano, as Redes Neurais Artificiais (RNA) têm se destacado em diversas pesquisas como uma boa alternativa no que se diz respeito à tomada de decisões no manejo florestal, bem como em outras linhas de pesquisa dentro da área supracitada.

Os índices de competição, de forma generalizada, são utilizados nos modelos em nível de árvore individual e se constituem por meio das relações entre as variáveis

dendrométricas, comparando o porte de cada árvore com as vizinhas e/ou a distância entre elas, para extrair o nível de competição que cada uma está submetida.

Com a pretensão de compreender a influência do comportamento competitivo no crescimento dimensional dos indivíduos arbóreos, o uso dos índices de competição tem ganhado cada vez mais aplicabilidade no meio científico. Todavia, para Alder e Silva (2000), quando o objetivo de uma pesquisa é avaliar os processos competitivos e de sucessão na dinâmica da floresta, o ideal seria a formulação de um modelo de crescimento completo para florestas tropicais, em que todas as espécies sejam representadas. O que se tornaria inviável para estudos com esses fins.

Para tanto, avaliar a competição florestal, na qual se leva em consideração a classificação em grupos sucessionais ou quanto ao nível de exigência por luz, pode ser uma alternativa satisfatória para esse tipo de pesquisa.

## **2. OBJETIVO GERAL**

Avaliar a competição arbórea, por meio da aplicação de índices de competição tradicionais, e agregar os melhores índices como variáveis na modelagem do crescimento dendrométrico em fragmento de Floresta Estacional Semidecidual no município de Caratinga- MG.

### **2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar a competição florestal utilizando índices independentes e semidependentes da distância, além de verificar o quanto o raio de influência pode interferir na competição das árvores;
- Avaliar a competição de acordo com o grupo ecológico das espécies, bem como a exigência por luz e selecionar índices de competição para os diferentes grupos;
- Modelar o crescimento dendrométrico do fragmento em questão por meio das técnicas de regressão linear/não linear e redes neurais artificiais.

## **3. REVISÃO DE LITERATURA**

### **3.1. FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL**

Conceitua-se florestas estacionais semidecíduais (FES), de acordo com Veloso et al. (1991), como formações cuja sazonalidade climática determina a estacionalidade foliar dos indivíduos arbóreos, em resposta à deficiência hídrica ou queda de temperatura nos meses frios e secos. Portanto, quando o número de indivíduos que perdem as folhas nesse período for inferior a 50%, variando de 20 a 50%, classifica-se como Floresta Estacional Semidecidual (FES), caso contrário, é classificada como Floresta Estacional Decidual (LEITE, 1994).

Durigan et al. (2000) afirmaram que poucos são os remanescentes de FES preservados. Souza et al. (2006) constataram que as áreas de FES foram amplamente alteradas e se localizam principalmente nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Bahia.

De acordo com Lugo et al. (1991), estas florestas se tornam atrativas para práticas de manejo por desenvolverem-se na maioria das vezes em condições naturais, não perturbadas, sendo que os fatores determinantes de cada fisionomia estão relacionados principalmente à fertilidade dos solos, considerada alta sob as florestas estacionais. Tais aspectos de fertilidade do solo, aliados ao grande potencial madeireiro de suas espécies, levaram a Floresta Estacional Semidecidual a ser reduzida a pequenos fragmentos, e em geral, muito alterada e em diferentes fases de sucessão (SANQUETTA, 2000).

Saunders et al. (1991), relataram que algumas consequências são geradas em virtude dessa fragmentação, uma vez que podem ocorrer alterações no microclima (como umidade, temperatura e radiação); alterações na biodiversidade da flora, fauna e genética; e mudanças na estrutura da vegetação.

Um dos motivos que mais compromete a conservação deste tipo de vegetação, segundo Silva et al. (2006), é a conversão de terras para a agricultura e pecuária e, apesar da crescente fragmentação, cada remanescente de FES apresenta particularidades históricas e estados de conservação diferentes, refletidos em sua composição florística e estrutural, o que os torna únicos e eleva a importância da sua conservação para a manutenção da biodiversidade (SANTOS; KINOSHITA, 2003).

As florestas secundárias resultam de complexa combinação de diferentes fatores de perturbação antrópica, gerando um mosaico de ecossistemas secundários, extremamente diversos (UHL, 1987). Considerando que essas florestas se tornaram muito comuns nas regiões tropicais, Brown e Lugo (1990) afirmaram que a realização de estudos sobre esses ecossistemas é bastante relevante para se conhecer a estrutura, a



diversidade e seu funcionamento e, portanto, propor medidas de conservação e manejo dessas comunidades, assim como fornecer subsídios a práticas de restauração de áreas degradadas.

### 3.2. COMPETIÇÃO FLORESTAL

A sucessão ecológica é um processo que envolve mudanças em uma comunidade no espaço e ao longo do tempo, devido a perturbações que podem remover espécies, interromper o ciclo de vida das espécies privando-as de espaço e recursos alimentares ou modificar o ambiente deixando grandes espaços abertos (Connell & Slatyer, 1977; Begon et al., 2006).

Connell e Slatyer (1977), propuseram três modelos diferentes de sucessão são propostos, sendo que o primeiro foi denominado de facilitação, em as espécies secundárias só se estabelecem no local após as espécies primárias terem modificado as condições ambientais; o segundo é a tolerância, no qual espécies secundárias não precisam necessariamente da presença de espécies primárias para se estabelecer e crescer, pois o estabelecimento depende do nível individual de tolerância a escassez de recursos das espécies; e o terceiro é o de inibição, no qual as espécies primárias inibem o crescimento de outras espécies através do uso de espaço e recursos.

O sombreamento é reconhecido como um importante mecanismo de facilitação entre espécies de plantas que habitam ambientes com alta incidência de luz. Por outro lado, este mesmo fator pode ser considerado como um mecanismo de competição por inibição quando espécies que necessitam de muita luz para se desenvolver e manter-se no ambiente são inibidas pela falta de luz (NOBLE; SLATYER, 1980; SCHULZE et al., 2005; CALLAWAY, 2009).

O processo da competição entre árvores inicia-se quando os recursos necessários para seu crescimento decrescem abaixo de sua demanda, dessa forma, prejudica o seu desenvolvimento (WEBER et al., 2008). Segundo Phipps (1982), fatores que implicam na intensidade da competição florestal, luz, água, nutrientes e espaço físico entre outros, têm implicações profundas para a ecologia e manejo florestal, pois compromete a aquisição e disponibilidade dos mesmos para o crescimento das árvores. A competição entre árvores retrai o crescimento em diâmetro e aumenta a probabilidade de ocorrência de mortalidade (LEE, 1971).

A luminosidade é um dos fatores que pode influenciar na composição e a estrutura de uma comunidade que, segundo Harcombe et al. (2002), devido à competição por esse recurso, há diferentes estratégias de uso pelas plantas. Esse mecanismo biológico possibilita e favorece a busca por luz, promovendo competição pelo mesmo, além de haver espécies capazes de sobreviver e crescer sob gradientes diferentes de luminosidade (POPMA; BONGERS 1991).

A concorrência entre árvores individuais continua a receber uma maior atenção por causa de seus fortes efeitos de controle da estrutura dos povoamentos e desenvolvimento (KOZLOWSKI et al., 1991; MCDONALD et al., 2002; WEBER et al., 2008; THORPE et al., 2010).

Martins et al. (2011), relataram que a competição é uma variável quantitativa importante em modelos de crescimento e produção florestal. No entanto, é difícil de ser mensurada, pois não se conhecem suas causas diretas, bem como a ligação entre a competição, a redução dos recursos disponíveis e a redução da taxa de crescimento.

O efeito negativo da competição sobre o crescimento e mortalidade das árvores é confirmado por diversos autores (WYKOFF, 1990; QUICKE et al., 1994; BIGING; DOBBERTIN, 1995; HASENAUER; MONSERUD, 1996; MONSERUD; STERBA, 1996; STERBA et al., 2002). Na floresta fechada do leste da América do Norte, por exemplo, a competição foi identificada como um dos principais determinantes do crescimento das plantas e produtividade (PHIPPS, 1982).

Zhao et al. (2004) afirmaram que em florestas naturais a competição presente se caracteriza em: de um lado (*one-sided competition*) e de dois lados (*two-sided competition*). Na competição de um lado, as árvores maiores não são afetadas por árvores menores, enquanto que na competição de dois lados, todos os recursos são divididos igualmente, ou proporcionais ao tamanho (WEISKITTEL et al., 2011).

Para Ledermann e Eckmullner (2004), a competição de um lado é bem representada pelo índice BAL (*basal area in larger trees*), que indica um "ranqueamento" das árvores dentro da floresta, torna-se, portanto, uma variável indicativa de competição entre árvores por luz. Já para Vanclay (1994) e Weiskittel et al. (2011), a área basal (G) é uma variável de competição de dois lados, que representa a competição por água e nutrientes.

Além das classificações supracitadas, alguns autores classificaram a competição em outras duas categorias distintas: simétrica e assimétrica, nas quais referem-se à forma como são distribuídos os recursos entre as árvores. A primeira é considerada

como um compartilhamento de recursos, entre os indivíduos arbóreos, de forma igualitária, já para a competição assimétrica, pressupõe-se que a partilha dos recursos seja desigual, como consequência dos maiores indivíduos que têm uma vantagem competitiva sobre os menores (SCHWINNING; WEINER, 1998; FRECKLETON; WATKINSON, 2001; BEGON et al., 2006; ROITMAN, 2011).

Potvin e Dutilleul (2009), numa plantação de árvores experimental no Panamá, constataram que a concorrência em tamanho assimétrico por vizinhos locais é a fonte esmagadora de variação em crescimento de árvore individual. Em plantios mistos, o efeito dos vizinhos no crescimento do diâmetro a nível de árvore individual não pode ser apenas gerado por relações de tamanho, mas também as espécies de árvores podem diferir na competitividade.

Outro ponto a ser levado em consideração é de como a competição florestal se manifesta. Se este processo ocorre de forma mais intensa entre indivíduos da mesma espécie ou se há diferença na disputa de obtenção de nutrientes em ambientes heterogêneos. Alguns autores constataram, a partir de estudos realizados, que tem sido verificado que os vizinhos da mesma espécie são concorrentes mais fortes do que os vizinhos heteroespecíficos (STOLL; NEWBERY, 2005; RICHARDS et al., 2008; PRETZSCH; SCHÜTZE, 2009). Isto pode ser devido a uma equivalência competitiva alta dentro das espécies, mas não entre espécies diferentes.

Todavia, Hubbell (2001), relata um modelo neutro que todos os indivíduos, independentemente da identidade da espécie, são funcionalmente equivalentes concorrentes. Foi demonstrado que o modelo neutro tem um melhor desempenho em algumas comunidades da floresta do que outros (URIARTE et al., 2004; STOLL; NEWBERY, 2005; CANHAM et al., 2006; ZHAO et al., 2006).

Papaik e Canham (2006), sugerem que a existência de concorrência está relacionada com o nível de diversidade da comunidade da floresta, uma vez que só pode ocorrer em níveis muito elevados. Além disso, em florestas ricas em espécies, é concebível que os efeitos do vizinho podem variar não só entre indivíduos da mesma espécie, mas também entre espécies ou grupos de espécies particulares (ZHAO et al., 2006; LI et al., 2010).

Além de vários questionamentos a serem pesquisados e discutidos acerca do processo da competição florestal, a dificuldade no levantamento de informações em florestas naturais é mais acentuada por conta das características encontradas nestes

ambientes, tais quais: relevo, acesso, complexidade na composição florísticas dentre outras.

### 3.3. CLASSIFICAÇÃO DE ESPÉCIES QUANTO A EXIGÊNCIA POR LUZ

As florestas tropicais possuem um mosaico de diferentes ambientes de luz, que variam de sub-bosques sombreados a clareiras de vários tamanhos, levando a uma significativa heterogeneidade de adaptações a esses diferentes gradientes de luz (VALLADARES et al., 2000).

Segundo Ferreira et al. (2012), em função da luz, as espécies vegetais podem ser agrupadas em dois grandes grupos: espécies pioneiras (heliófilas), que requerem radiação solar direta para a germinação e o crescimento satisfatório de suas plântulas, e espécies clímax (umbrófilas), que são tolerantes ao sombreamento inicial, podendo germinar, sobreviver e desenvolver-se sob dossel fechado, com pouca luz. Este último grupo é subdividido em espécies clímax exigentes de luz e clímax tolerantes à sombra (SWAINE; WHITMORE, 1988).

Whitmore (1989) tem uma concepção diferente acerca da classificação em grupo, em que as espécies tropicais pertencem somente a dois grandes grupos ecológicos, sendo um grupo formado pelas espécies intolerantes à sombra e outro formado pelas espécies tolerantes à sombra, as demais variações, que eventualmente se observam, estariam abrangidas por toda essa dicotomia.

Para Longhi et al. (2005), são consideradas espécies intolerantes à sombra aquelas incapazes de se desenvolverem sob o dossel da floresta madura, necessitando, assim, de clareiras ou fases sucessionais da floresta onde as condições de luz sejam propícias. Espécies tolerantes à sombra são aquelas capazes de se desenvolverem sob o dossel da floresta até atingirem o estágio reprodutivo no qual necessitam condições mais adequadas de luminosidade.

As espécies arbóreas variam grandemente na sua capacidade de responder a alterações na disponibilidade de luz (THOMPSON et al., 1992). Pesquisas relacionadas aos efeitos do sombreamento sobre o crescimento dos vegetais demonstraram que, comparadas às plantas de sol, as plantas de sombra apresentam entre outras características, maior área foliar, menor matéria seca, menor relação de clorofila a/b, menor taxa de fotossíntese, menor intensidade de respiração e transpiração, e menor taxa de crescimento relativo (LÜTTGE, 1997).

Um aspecto que difere as espécies quanto ao nível de influência que elas exercem sobre as outras é pela demanda de luz (LORIMER, 1983; SZWAGRZYK et al., 2015). Por exemplo, as copas de espécies tolerantes à sombra têm mais densidade de folhas do que as intolerantes e, portanto, um índice de competição deveria ser calculado para cada espécie (STADT et al., 2007).

De acordo com estudos realizados por Contreras et al. (2011) e Das (2012), em floresta mista de coníferas, foi notado uma menor sensibilidade para concorrência nas espécies tolerantes à sombra e essas relações também podem explicar o desempenho relativamente fraco dos índices quando se aproximam condições competitivas para a previsão de crescimento do *Pinus strobus*, por exemplo.

Das (2012), relatou que, no geral, o tamanho da árvore foi suficiente para descrever o estado competitivo do *Pinus strobus*, e não houve suporte para uma interação entre tamanho e intensidade da concorrência, como foi observado para intolerantes à sombra *Pinus resinosa*. Dado que a intensidade da concorrência diminuiu com o aumento o tamanho da árvore para *Pinus resinosa*, a resposta do *Pinus strobus* parece ser semelhante em toda a sua gama de tamanho analisada com o *Pinus resinosa*.

A intensidade de luz que chega ao indivíduo é uma variável determinante ao crescimento e desenvolvimento das espécies florestais, refletindo nos mecanismos de regeneração e crescimento das florestas (JENNINGS et al., 2001). As espécies florestais possuem diferentes comportamentos em relação à intensidade de luz, contribuindo para a definição de suas características sucessionais (DANIEL et al., 1994), esse comportamento foi comprovado em condições controladas de desenvolvimento de mudas florestais, o que permite aferir que a incidência de luz influencia de forma mais intensa em ambientes naturais, desde a germinação de sementes até o estágio limite da sucessão ecológica. Assim, a luminosidade exerce influência sobre todos os estágios de crescimento das plantas, existindo diferentes respostas dos indivíduos para cada fase.

As respostas fisiológicas à luz e à escassez de água variam entre as espécies arbóreas e indivíduos de uma mesma espécie, conforme as adaptações a diferentes estágios sucessionais da floresta, dependendo da idade da planta e de sua posição no dossel (RICHARDSON et al., 2000).

Apesar dos contrastes encontrados em florestas tropicais, Tomé (1990), enfatizou a importância em conhecer o tipo e intensidade da competição predominante para selecionar o índice de competição mais adequado.

### 3.5. ÍNDICES DE COMPETIÇÃO FLORESTAL

A competição entre árvores é geralmente avaliada com aplicação de índices que expressam, matematicamente, o nível relativo de concorrência entre uma árvore-objeto às árvores vizinhas, no que se refere a aquisição e disponibilidade de nutrientes. Por exemplo, a fraca capacidade de árvores menores para competir com os seus vizinhos maiores é exemplificado pelo amplo uso de índices de competição assimétrica (PELTONIEMI; MÄKIPÄÄ, 2011).

Um índice de competição (IC) é a tentativa de quantificar, em simples expressões matemáticas, o efeito de plantas vizinhas sobre o crescimento de uma árvore individual (VANCLAY, 2006). Os índices diferem em vários aspectos da competição que pretendem expressar, e, como tal, seu desempenho na previsão de crescimento da árvore tem variado entre estudos (D'AMATO; PUETTMANN, 2004; KUNSTLER et al., 2011)

De acordo com dados históricos de pesquisas científicas, os índices de competição foram desenvolvidos para prever o crescimento em povoamentos equiâneos monoespecíficos (BROWN, 1965; BELLA, 1971; DANIELS 1976; HEGYI, 1974; LORIMER, 1983; MARTINS, 2011; CASTRO, 2011).

Todavia, autores relatam que são importantes para a modelagem de crescimento e produção em florestas tropicais (FOLI, 1993). Além de serem empregados na determinação do nível de supressão de cada árvore em relação às suas competidoras (MARTINS et al., 2011).

Os índices são classificados em três categorias: independentes da distância, que utilizam variáveis em nível de povoamento e dimensões iniciais da árvore-objeto; dependentes da distância, que incorporam além das variáveis mencionadas anteriormente, o número, as dimensões e a distância entre as árvores vizinhas ou competidoras com a árvore-objeto (TOMÉ; BURKHART, 1989; CHASSOT et al., 2011). Dessa forma, a densidade pode ser utilizada como variável de decisão para intervenções silviculturais, como também em modelos simuladores de crescimento e na prognose de produção.

A terceira categoria consiste nos índices de competição semidependentes da distância, nos quais são aplicados os índices independentes da distância, especialmente restritos a um menor conjunto de árvores vizinhas (aquelas mais próximas), ao invés de todas as árvores da unidade amostral, sendo empregado, normalmente, raios de

influência ou vizinhança (STAGE; LEDERMANN, 2008; LEDERMAN, 2010; CONTRERAS et al., 2011).

De acordo com Vanclay (1994), muitos modeladores tentaram definir alguns conceitos, de forma concisa, em um índice de concorrência, mas não há nenhum índice único que satisfatoriamente encarna esses conceitos e executa bem em testes empíricos.

Os estudos empíricos de Opie, (1968); Lorimer, (1983); Martin; Ek, (1984) e Barclay; Layton, (1990), demonstraram que os índices de concorrência raramente fornecem melhores estimativas de incremento de medidas simples de área basal, e que a despesa de determinar a posição das árvores individuais no local é raramente garantida para fins de previsões de produção. Isto não implica que não há lugar para modelos espaciais, pelo contrário, eles têm oferecido informações importantes sobre a concorrência e como modelá-la, tornando-se útil nas pesquisas de aspectos silviculturais.

Segundo Roitman (2011), os índices, de forma generalizada, têm sido aplicados com sucesso a formações que possuem condições mais controladas, como espaçamento, idade e espécie. Já a aplicabilidade de índices de competição em florestas naturais tropicais é dificultada pela complexidade associada a essas florestas. De acordo com Orellana (2014), poucos trabalhos avaliaram os efeitos da competição na sobrevivência de árvores utilizando índices dependentes da distância entre espécies ou grupos de espécies arbóreas em florestas tropicais.

Vários estudos anteriores confirmaram que os índices independentes da distância entre as árvores tiveram um bom desempenho, às vezes até melhor do que índices espaciais, considerados mais complexos, em que descreve as interações competitivas (LORIMER, 1983). Esta insignificância de localizações espaciais de árvores é atribuída em parte para os estudos terem sido conduzidos em plantações uniformemente espaçadas (HARTMANN et al., 2009).

O índice de competição de Glover e Holl (1979) foi amplamente recomendado para determinar a competição de povoamentos homogêneos de mesma idade, tamanho e crescimento potencial, de acordo com Dimov et al. (2008), devido a vantagem de ser independente do espaço e explicar boa parte da variação do crescimento. Entretanto, o índice pode perder sua funcionalidade em povoamentos mistos de diferentes idades onde comumente encontram-se indivíduos competidores de menor diâmetro (elevada relação h/d).

Autores como Martin e Ek (1984), incluíram índices de competição independentes da distância nos modelos de crescimento de *Pinus resinosa* e obtiveram resultados superiores em relação aos modelos sem a utilização de índices. Pukkala e Kolstrem (1987) avaliaram vários índices dependentes da distância e verificaram que os melhores índices poderiam explicar até 50% da variação de crescimento em diâmetro para *Pinus sylvestris*.

Outra característica analisada na aplicação dos índices refere-se a luminosidade. Em um dos estudos em povoamentos mistos, Biging e Dobbertin (1992), encontraram vários índices de competição espaciais que apresentaram um melhor desempenho para tolerantes do que para as espécies mais exigentes de luz (por exemplo, *Ponderosa pinho*, em Califórnia, EUA).

Ainda no que se refere a incidência de luz, Boivin et al. (2010) relataram aumento do poder preditivo do modelo de crescimento quando incluído no cálculo da competição o sombreamento da árvore-objeto causado pela árvore vizinha competidora. Esta melhora pode estar associada ao fato que o resultado da interação (competição) determina o tamanho da copa de cada árvore individual, o que reflete na interceptação de luz, capacidade fotossintética, crescimento e até mesmo sobrevivência (THORPE et al., 2010).

Biging e Dobbertin (1995), ao revisarem vários estudos em relação aos ganhos no poder de predição com a utilização de índices de competição, concluíram que a superioridade de um índice é verificada somente para determinadas situações e espécies.

Segundo Tonini (2007), os índices de competição constituem uma forma simples e de baixo custo para investigar efeitos de interações competitivas no crescimento das árvores. De acordo com Cunha e Finger (2013), vários aspectos devem ser considerados antes de interpretar a significância dos índices de competição, comprovada pela equação ajustada, uma vez que os índices variam de acordo ao método de cálculo da competição. Todavia, devido serem simples expressões matemáticas e, não necessariamente, representarem todo o complexo processo ontogênico das condições de competição, que facilmente são alteradas, o que pode resultar numa relação matemática inteiramente marginal (LAROCQUE, 2002).

Na avaliação do desempenho dos índices de competição é frequente a estimação da correlação com as variáveis de interesse, como o crescimento em diâmetro, a área basal e a altura (DANIELS et al., 1986; WEBER et al., 2008).



Além dos índices de competição, outras variáveis, relacionadas à dimensão e vigor das árvores, foram indicadas para a avaliação do crescimento do componente arbóreo, assim como a combinação de tamanho das árvores e variáveis do povoamento (BUCHMAN et al., 1983; MONSERUD; STERBA, 1999; SCHNEIDER et al., 2005; EID; TUHUS, 2007).

Reforça-se a ideia da relação funcional para descrever a probabilidade apresentada por Davis et al. (2005), em que a mesma depende das variáveis dos índices de competição, tamanho da árvore e variáveis do povoamento, as quais são biologicamente conectadas ao processo de mortalidade em um modelo de árvore individual (CRECENTE-CAMPO et al., 2009)

A maioria dos estudos de competição entre árvores tem focado no desempenho médio (crescimento diamétrico) em relação com a densidade do povoamento (uso do índice de BAL). Entretanto, utilizar somente a densidade como uma medida da competição para avaliar o desempenho das árvores em floresta natural pode resultar em modelos seriamente tendenciosos, já que os efeitos da variação, que podem ser grandes, são mascarados. Isso reforça a cautela em considerar o uso de modelos não espaciais (Índice de Glover e Holl) na modelagem do crescimento de florestas mistas.

Em florestas tropicais ainda são escassos trabalhos avaliando índices de competição e a sua relação com o crescimento das árvores. Neste tipo de ambiente, a concorrência das árvores é um processo espacialmente explícito, sendo que a identificação da espécie envolvida no processo pode ser importante (STOLL; NEWBERRY, 2005; ZHAO et al., 2006). Assim, quando se descreve o modo de competição entre árvores individuais e da associação entre espécies, bem como prever o desenvolvimento nesses ambientes, uma abordagem individual à base espacialmente explícitos é preferível (ZHAO et al., 2006). Entretanto, alguns autores recomendam incluir na modelagem, índices de competição que desconsideram o espaço (FOX et al., 2007). O resultado de determinado índice de competição pode variar consideravelmente com a inclusão da árvore-objeto que se aproxima (CORRAL RIVAS et al., 2005).

Segundo Tonini (2007), definir uma zona exata em que ocorre a influência de árvores vizinhas competidoras é bastante difícil. Entretanto, Vettenranta (1999) sugere que realmente não há uma razão natural, pois a competição cessaria repentinamente a uma determinada distância, sendo mais realista assumir que a competição decresce com o aumento da distância a árvore-objeto.

### 3.4. MODELAGEM DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO FLORESTAL

As três principais categorias de modelos de crescimento e produção empíricos são direcionadas para povoamento, distribuição diamétrica e para árvores individuais (DAVIS et al., 2005). Segundo Campos e Leite (2013), estes modelos não respondem muito bem a detalhes do processo de crescimento da floresta (causas), mas são empregados com sucesso para prever a produção de madeira, que é um dos elementos essenciais do manejo florestal propriamente dito.

De acordo com os autores supracitados, a desvantagem dos modelos de crescimento e produção em nível de povoamento total é que não explicam diretamente a variação das dimensões das árvores dentro do povoamento, porém, estimam a produção e o crescimento a partir de atributos em nível de povoamento. Já os modelos de distribuição diamétrica estimam o número de árvores por hectare por classe de diâmetro nas idades presente e futura. Sendo que a principal característica é o emprego de funções de densidade de probabilidade.

A categoria de árvores individuais (MAI) é mais complexa do que as demais, porém, tem a vantagem de gerar informações detalhadas sobre a dinâmica da estrutura dos povoamentos. Segundo Chassot (2011), a modelagem do crescimento de árvores individuais vem sendo desenvolvida especialmente em países europeus e norte-americanos. Conforme Hasenauer (1994), o primeiro modelo simulador de árvore singular foi desenvolvido por Newhan, no ano de 1964, para povoamentos puros. A partir de então, os pesquisadores passaram a trabalhar muito com modelagem, orientada em árvores individuais.

As redes neurais artificiais (RNA) se apresentam como forma alternativa ao emprego dos modelos tradicionais de crescimento e produção florestal. Os resultados satisfatórios alcançados através da aplicação das redes neurais artificiais são provenientes das características intrínsecas que as tornam adequadas para solucionar diferentes problemas. A eficácia no uso dessa técnica vem sendo comprovada por diversos Pesquisadores das Ciências Florestais, tais como Diamantopoulou, (2005); Silva et al. (2009); Leite et al. (2011); Castro et al. (2011); Binoti et al. (2012); Binoti et al. (2013) e Leal et al. (2015), e tem se mostrado satisfatória em relação ao método tradicional de obtenção de estimativas de variáveis dendrométricas.

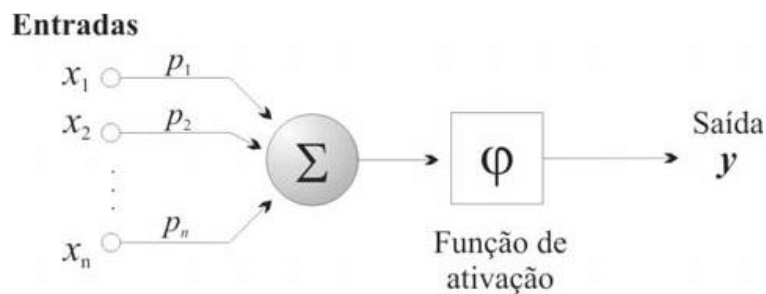
Segundo Haykin (2001), uma das principais vantagens apresentadas pelas RNA é o fato de conseguirem trabalhar e desempenhar bons ajustes utilizando variáveis

pouco tradicionais nos ajustes como, por exemplo, a possibilidade de modelagem com variáveis categóricas, também chamadas de qualitativa. Segundo este mesmo autor, os principais modelos de RNA utilizados para fins de previsão de variáveis contínuas são as redes MLP (*Multilayer Perceptron*).

Em termos práticos, a aplicação dessa técnica consiste em um sistema computacional paralelo (camadas) constituído de várias unidades de processamento simples, denominadas neurônios ou nodos, conectadas entre si (BULLINARIA, 2010). Entretanto, de acordo com Braga et al. (2007) e Artero, (2009), a definição de uma configuração de RNA apropriada para solucionar um determinado problema geralmente é empírica e pode demandar muito tempo para encontrar a rede ideal, devido ao número elevado de combinações possíveis dos atributos das redes, tais como número de neurônios, função de ativação, algoritmos de aprendizagem e seus parâmetros.

Binoti et al. (2010), conceitua neurônio artificial como uma unidade de processamento de informação de uma RNA, tendo com componentes “n” entradas  $X_1, X_2, \dots, X_n$  (dendritos) e uma saída  $y$  (axônio). As entradas são associadas a pesos  $P_1, P_2, \dots, P_n$  que representam as sinapses, essas podem ser negativas ou positivas, e, de acordo com Haykin (2001), a representação de um neurônio artificial pode ser ilustrado através de uma simplificação do modelo (Figura 1):

Figura 1- Modelo matemático de um neurônio (FERNEDA, 2006).



Este modelo é composto por três elementos básicos:

- um conjunto de  $n$  conexões de entrada ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ), caracterizadas por pesos ( $p_1, p_2, \dots, p_n$ );
- um somador ( $\Sigma$ ) para acumular os sinais de entrada;
- uma função de ativação ( $\phi$ ) que limita o intervalo permissível de amplitude do sinal de saída ( $y$ ) a um valor fixo.

Dentre todas as características pertinentes às RNA, destaca-se a capacidade que as mesmas têm de aprender, por meio de exemplos, tendo como consequência a

inferência sobre o que aprendeu, melhorando gradativamente o seu desempenho (FERNEDA, 2006). A forma de aprendizado das RNA é classificada em duas categorias: método de aprendizado supervisionado e não supervisionado.

A diferença básica entre esses dois métodos é que no primeiro método há um agente externo, responsável pela definição de um padrão na entrada dos dados e um padrão correspondente na saída dos dados, enquanto no segundo método o padrão é definido pela própria rede neural. Portanto, cabe ao agente externo definir se as repostas das redes são satisfatoriamente aceitáveis. Segundo Ferneda (2006), esse agente necessita, obrigatoriamente, de ter um conhecimento prévio do comportamento que se deseja ou se espera da rede, sendo que para cada entrada, deve ser indicado se a resposta calculada é boa ou ruim.

As RNA mais utilizadas são as redes multicamadas do tipo *feed forward* pelo método de aprendizagem supervisionado. Este tipo de rede tem como principal algoritmo de treinamento a retropropagação (*back-propagation*) do erro, que comumente se apresenta acrescida do termo *momentum*. De acordo com Castro (2011), este algoritmo tem como função corrigir o peso entre cada conexão, de forma proporcional ao erro que esteja causando na saída da RNA. A eficiência do aprendizado está diretamente relacionada aos parâmetros do algoritmo de treinamento, do número de neurônios e do número de camadas (GORGENS et al., 2006).

# **CAPÍTULO 1 - ÍNDICES DE COMPETIÇÃO NA AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO ARBÓREO EM FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL SUBMONTANA**

## **RESUMO**

O processo de competição florestal origina-se da relação direta entre a disponibilidade de recursos e a demanda, por parte das árvores. A maioria dos estudos que analisam o comportamento da competição arbórea é voltada para plantios homogêneos e equiâneos. Nota-se, portanto, uma carência de informações deste cunho em florestas naturais de elevada biodiversidade. Partindo desse pressuposto, objetivou-se com este trabalho avaliar a competição num fragmento de floresta estacional semidecidual no estado de Minas Gerais, de acordo a classificação por grupo ecológico, grupos tolerantes e intolerantes à sombra e para todas as espécies amostradas no fragmento, por meio da aplicação de índices de competição. Foi aplicado, para cada fuste, em cada medição, índices de competição independentes da distância (IID) e semidependentes da distância (ISD), com raios de 2, 3, 4, 5 e 6 metros de influência. O índice BAL, sem raio de influência, obteve o melhor desempenho para analisar a influência da competição no crescimento dos indivíduos no fragmento estudado. Avaliar a competição por grupo ecológico é mais eficaz, visto que apresentou correlações superiores, além de os resultados obtidos no presente estudo confirmarem que a competição florestal não pode ser determinada apenas pela aplicação de um raio fixo de influência dos vizinhos em relação a árvore-objeto.

## **1. INTRODUÇÃO**

A competição florestal consiste numa relação direta entre o aumento da demanda por recursos necessários ao crescimento das plantas e o decréscimo na sua disponibilidade. Portanto, a redução ou até mesmo a escassez destes recursos, resultam em implicações profundas para a ecologia e manejo florestal, como destaca Lee (1971), que o processo de competição entre árvores retrai o crescimento em diâmetro e aumenta a probabilidade de mortalidade.

A maioria dos estudos que analisa o comportamento da competição arbórea é voltada para plantios homogêneos e equiâneos. Nota-se, portanto, uma carência de informações deste cunho em florestas naturais de elevada biodiversidade. Um dos entraves é a dificuldade de obtenção de dados, devido às adversidades inerentes ao ambiente, como relevo, dificuldade de acesso, alta densidade de indivíduos e diversidade de espécies encontradas em florestas naturais.

Uma das técnicas utilizadas para avaliar a competição florestal consiste no emprego de índices de competição ou concorrência. De acordo com Boivin (2010), uma variedade de índices de competição, espaciais ou não, foram desenvolvidos para estimar o efeito da competição no crescimento de árvores individuais ou de um povoamento. Para Castro (2011), a eficiência da modelagem do crescimento em nível de árvore individual pode ser maior com o uso de índices de competição.

Os índices de competição diferem conceitualmente em função do critério utilizado para expressar as relações entre as árvores. Na literatura são conhecidos os índices de competição dependentes da distância (IDD), independentes da distância (IID) e semidependentes da distância (ISD) (ALIG et al., 1984; STAGE; LEDERMANN, 2008; CONTRERAS et al., 2011).

Nos índices de competição dependentes da distância são atribuídas coordenadas espaciais para cada árvore, que permitem ponderar a competição entre cada árvore e as circunvizinhas pela distância, sendo mais complexos e exigentes em termos de coleta de dados (HYNENEN, 1995).

Os índices independentes da distância não utilizam informações da distribuição espacial dos indivíduos, sendo quantificados pela razão entre diâmetro e/ou altura das árvores e variáveis do povoamento, tais como área basal, diâmetro médio e altura média (DANIELS et al., 1986; PRODAN et al., 1997; DELLA-FLORA, 2001).

Segundo Contreras et al. (2011), o cálculo dos ISD aplica-se independentemente da distância, mas restringe o conjunto de árvores vizinhas com base na localização das parcelas de inventário. Um aspecto inerente à aplicação dos ISD é que a competição é analisada dentro de um conjunto específico de árvores, de acordo com o raio de influência determinado.

Orellana (2014), constatou que são poucos os estudos que avaliaram os efeitos da competição de árvores utilizando os atributos da distância entre espécies ou grupos de espécies arbóreas em florestas tropicais. Partindo desse pressuposto, objetivou-se com este trabalho avaliar a competição num fragmento de floresta estacional semidecidual no estado de Minas Gerais, de acordo a classificação por grupo ecológico, grupos tolerantes e intolerantes à sombra e para todas as espécies em conjunto, por meio da aplicação de índices independentes e semidependentes da distância.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O estudo foi realizado no município de Caratinga – MG, no Projeto Lagoa do Piau, cuja área é de 256,94 ha. Consiste num fragmento de Mata Atlântica, caracterizada como Floresta Estacional Semidecidual. O clima é classificado como AW pela classificação de Köppen, com temperatura variando entre 19,1° C e 28,3°C, e precipitação anual média equivalente a 1.373 mm. No local, foram instaladas 22 parcelas permanentes com dimensões de 10 x 50 m, equivalente a 500 m<sup>2</sup>. Em cada parcela, foram identificados e mensurados altura total (Ht) e diâmetro a 1,3 m de altura (DAP) dos indivíduos com DAP maior ou igual a 5 cm, nos anos de 2002, 2007 e 2012 (Tabela 1).

A identificação de todo o material botânico coletado foi feita por meio de comparações com o material do Herbário do Departamento de Biologia Vegetal da Universidade Federal de Viçosa (VIC-UFV) e consultas a especialistas, sendo adotado o APG III(2009) como sistema de classificação.

Para cada árvore foram determinadas as coordenadas x e y em relação à origem da sua parcela e criado um mapa de localização dos indivíduos com auxílio do *software ArcGis 10*. Para o cálculo das distâncias entre cada árvore e as suas competidoras, foi utilizada a ferramenta *Point Distance* disponível no *software* supracitado.

Tabela 1- Descrição dos dados levantados em fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, localizado em Caratinga – Minas Gerais, Brasil.

	Ano de medição		
	2002	2007	2012
DAP mínimo (cm)	4,8	4,8	5,0
DAP médio (cm)	9,5	9,8	10,3
DAP máximo (cm)	65,6	69,4	75,1
q (cm)	11,0	11,3	11,8
Ht mínima (m)	1,7	1,3	2,5
Ht média (m)	8,8	9,0	10,3
Ht máxima (m)	30,0	30,0	30,0
Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	19,9	21,3	21,9
Volume (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	155,0	167,1	197,9
Famílias botânicas	51	51	46
Gêneros botânicos	100	101	95

Continua...

Tabela 1, Cont.

Espécies identificadas	129	120	123
Espécies não identificadas	4	5	8
Número de fustes (ha)	2564	2564	2390
Número de árvores (árvores ha <sup>-1</sup> )	1914	2267	1815
Índice de Shannon-Weaver (H')	3,864	3,864	3,857
Número de indivíduos ingressos (ha)*	-	248	104
Número de indivíduos mortos (ha)*	-	232	219

\* Número de indivíduos ingressos / mortos desde a medição imediatamente anterior

Sendo: *DAP* = diâmetro com casca a 1,3 m; *q* = diâmetro quadrático; e *Ht* = altura total; Número de fustes (ha) = número de troncos, sendo contabilizada cada bifurcação abaixo do *DAP*.

## 2.2 ÍNDICES DE COMPETIÇÃO EMPREGADOS

Aplicou-se, para cada fuste, em cada medição, índices de competição independentes da distância (IID) e semidependentes da distância (ISD), vide Tabela 2. Para automatização do cálculo dos índices, utilizou-se um aplicativo, desenvolvido por Castro (2011), para cada categoria de índice em ambiente *Visual Basic for Applications*, utilizando o Microsoft Excel®, versão 2007.

Tabela 2- Índices de competição independentes da distância aplicados neste trabalho.

Índices independentes da distância	Autor (es)	Equação
$IID1 = \frac{dap_i^2}{\bar{d}^2}$	GLOVER e HOOL (1979)	(1)
$IID2 = \frac{Ht_i}{\bar{Ht}}$	GLOVER e HOOL (1979)	(2)
$IID3 = \frac{dap_i^2 \cdot Ht_i}{\bar{d}^2 \cdot \bar{Ht}}$	GLOVER e HOOL (1979)	(3)
$IID4 = \frac{AS_i^2}{ASq^2}$	STAGE (1973)	(4)
$IID5 = BAL_i$	STAGE (1973)	(5)

em que: *dap<sub>i</sub>* = diâmetro com casca do fuste da árvore-objeto, medido a 1,30 m (cm); *d* = média aritmética dos diâmetros dos fustes da unidade amostral (cm); *Ht<sub>i</sub>* = altura total do fuste da árvore-objeto (m); *Ht* = altura média dos fustes da unidade amostral (m); *AS<sub>i</sub>* = área seccional do fuste da árvore-objeto, medido a 1,30 m de altura (m<sup>2</sup>), *ASq* =



área seccional correspondente ao diâmetro médio ( $q$ ) dos fustes das árvores vizinhas ( $m^2$ );  $BALi$  = somatório das áreas seccionais dos fustes das árvores vizinhas maiores que o fuste da árvore-objeto.

Para o cálculo dos índices semidependentes da distância, os índices independentes foram limitados a um raio de influência (Figura 2). Com raios de 2 a 6 metros de circunferência, em intervalos de 1m, foram levadas em consideração as variáveis dendrométricas e os seus raios de influência.

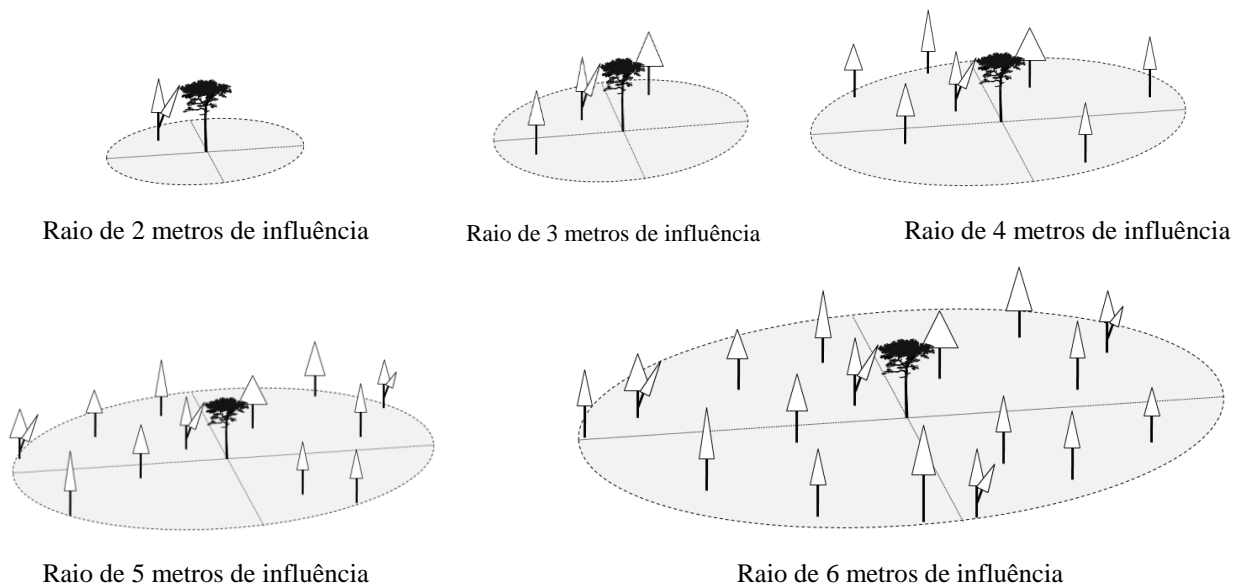


Figura 2- Raios de influência de 2, 3, 4, 5 e 6 metros empregados no cálculo dos índices semidependentes da distância.

Alguns autores definiram quais as árvores vizinhas à árvore-objeto são efetivamente competidoras, considerando um raio fixo ao redor da árvore-objeto (BÉLAND et al., 2003; CONTRERAS et al., 2011; DAS et al., 2011, ORELLANA, 2014). Todavia, ao definir um raio fixo, a competição tenderá a decrescer com o passar do tempo, já que o número de árvores por unidade de área decresce e a distância entre árvores aumenta (LORIMER, 1983).

Não foi determinado um maior raio de influência da competição, pois se acredita que, à medida que as árvores ficam mais próximas da borda da parcela, o índice de competição torna-se cada vez mais incompleto ou impreciso. Isso ocorre devido ao desconhecimento das árvores competidoras fora da parcela (ALDER, 1995; PRETZSCH, 2009; ORELLANA, 2014). Não tem como avaliar a competição que as árvores situadas, externamente ao raio de influência e a parcela, exercem sobre as os indivíduos arbóreos contidos no interior dos raios.

Após o cálculo dos índices de competição, foram realizadas análises gráficas relacionando o crescimento anual em diâmetro e em altura com cada índice aplicado. Ao nível de 95% de probabilidade, foi elaborada uma matriz de correlação linear entre os índices e o crescimento anual em diâmetro ( $\Delta DAP$ ) e crescimento anual em altura ( $\Delta Ht$ ), obtidos entre cada intervalo de medição.

As espécies presentes no fragmento florestal foram classificadas, segundo Gaspar (2014), nos seguintes grupos ecológicos: pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias e clímax. Posterior a esta classificação, os grupos sucessionais foram organizados em dois grupos, atendendo a critérios da exigência por luz, em heliófilas e umbrófilas. Da mesma forma que foi analisada para todas as espécies, também foram verificadas as correlações dos índices de competição com o crescimento em diâmetro e altura dos indivíduos por agrupamento. Apesar de gerar novas correlações por grupos, seja por grupos ecológicos ou tolerantes e intolerantes à sombra, os índices foram os mesmos, calculados entre todas as árvores vizinhas.

Vale ressaltar que no presente estudo não foi levada em consideração a ocorrência de mortalidade, uma vez que a obtenção de uma equação de mortalidade para cada espécie é inviável, devido à grande quantidade de espécies e número reduzido de dados (baixa abundância) para muitos deles, o que impede o desenvolvimento de relações de confiança (ROSSI et al., 2007).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

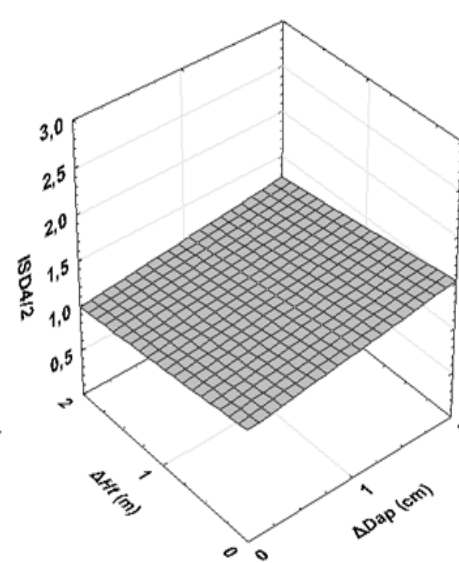
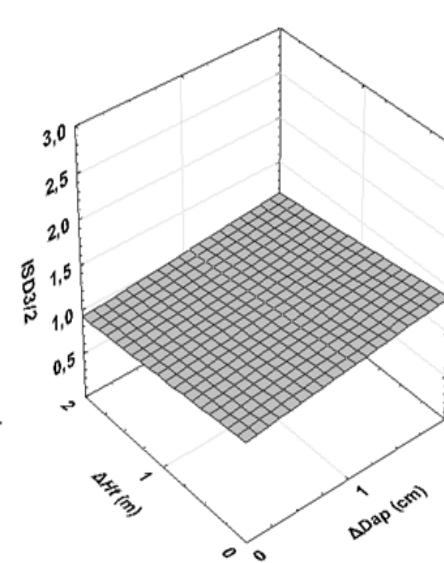
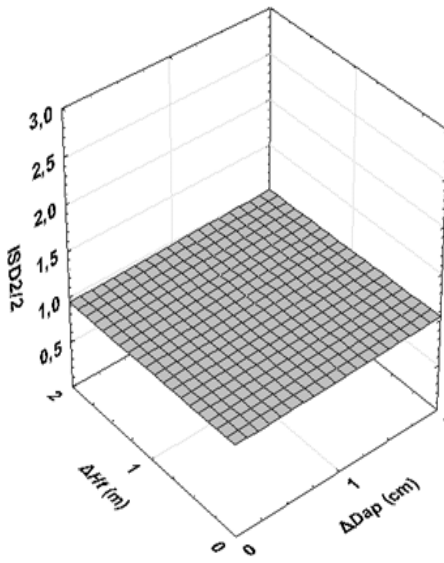
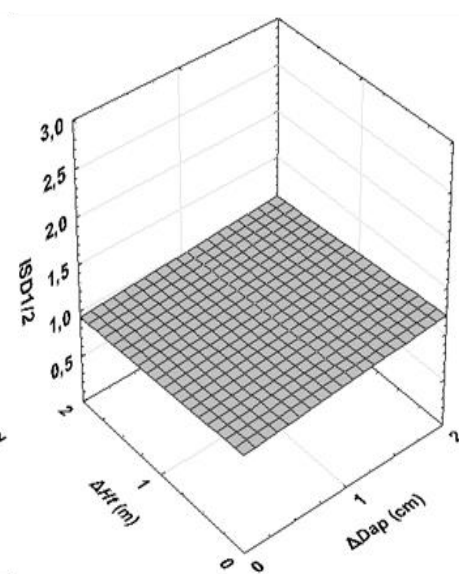
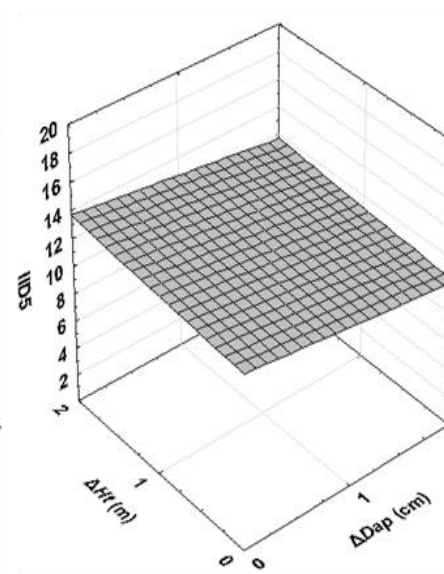
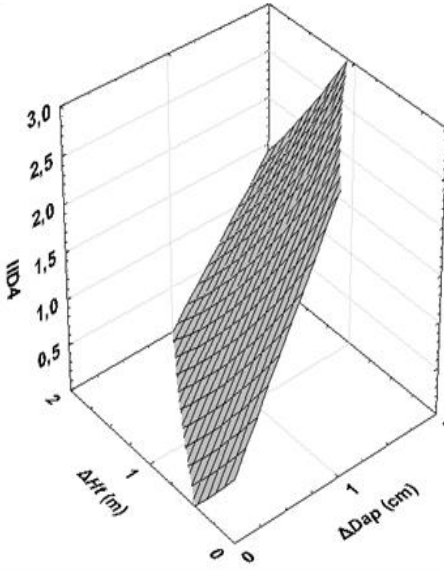
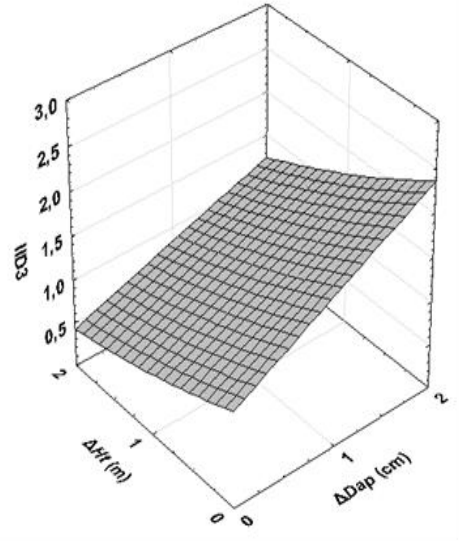
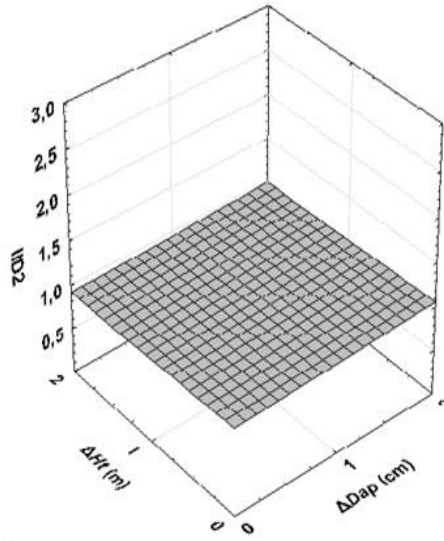
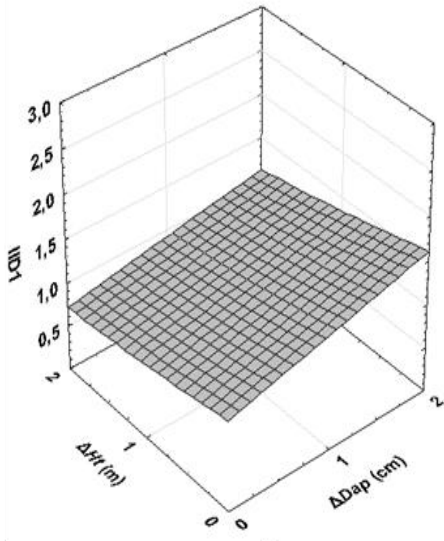
O maior desvio padrão encontrado para a variável DAP foi o do grupo sucessional clímax, enquanto que para a variável H, o grupo de todas as espécies apresentou uma maior dispersão dos valores em relação à média (Tabela 3). Quando se analisa a relação entre os desvios padrão e as correlações obtidas entre os índices de competição e as variáveis em questão, constata-se que as piores correlações, inclusive as não significativas, foram pertinentes aos grupos que apresentaram uma maior variação dos dados em relação à média. Este comportamento pode ser notado, por exemplo, no grupo das Clímax, onde apresentou, para a variável H, em quase totalidade, correlações não significativas.

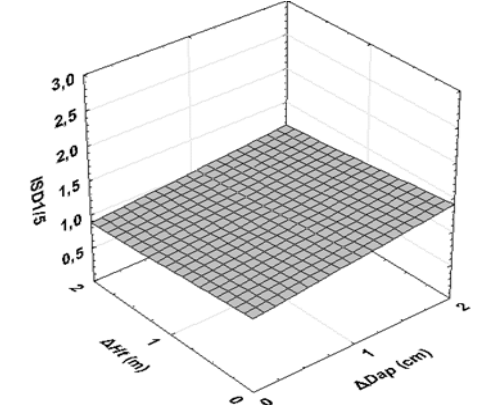
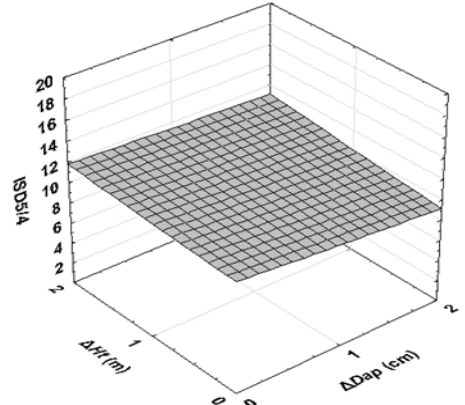
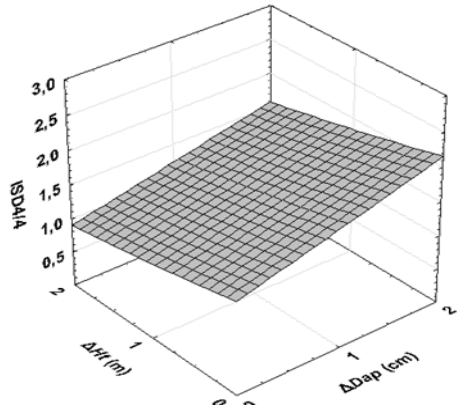
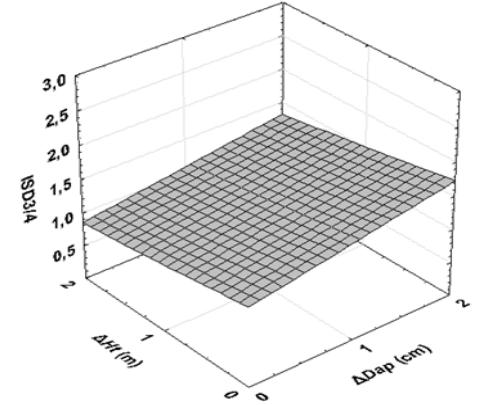
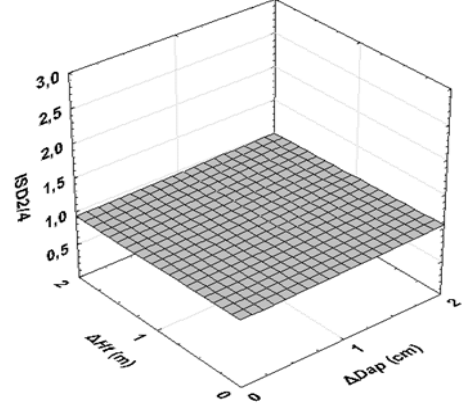
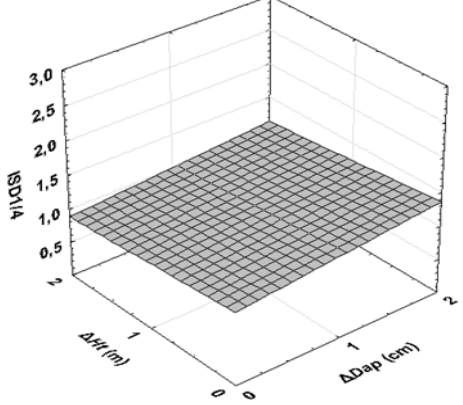
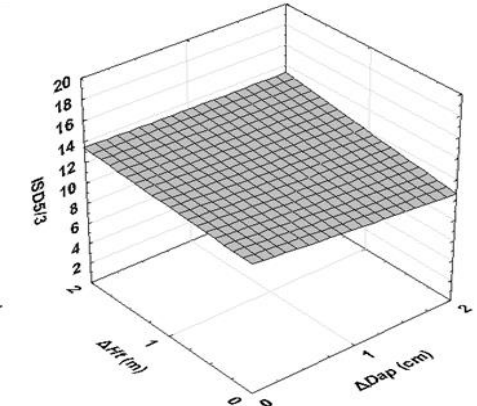
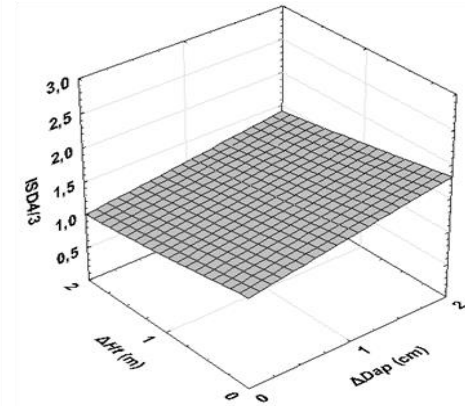
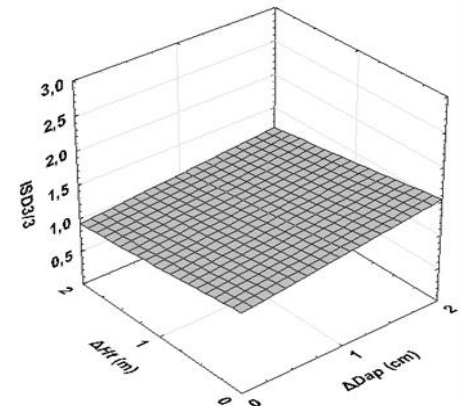
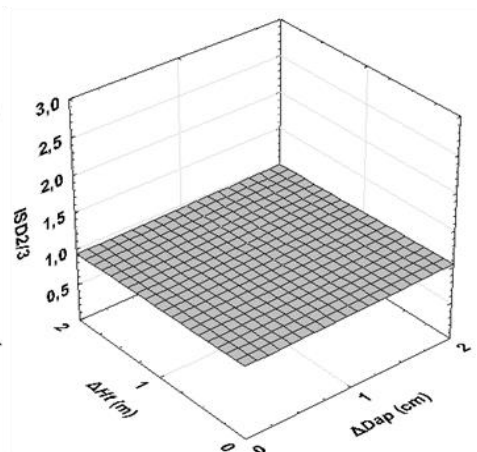
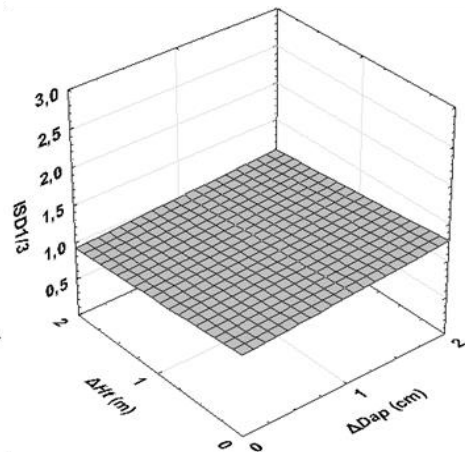
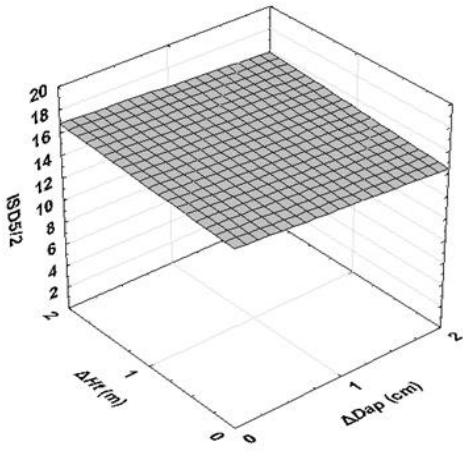
Tabela 3 – Relação dos DAP médio e H média e seus respectivos desvios padrão.

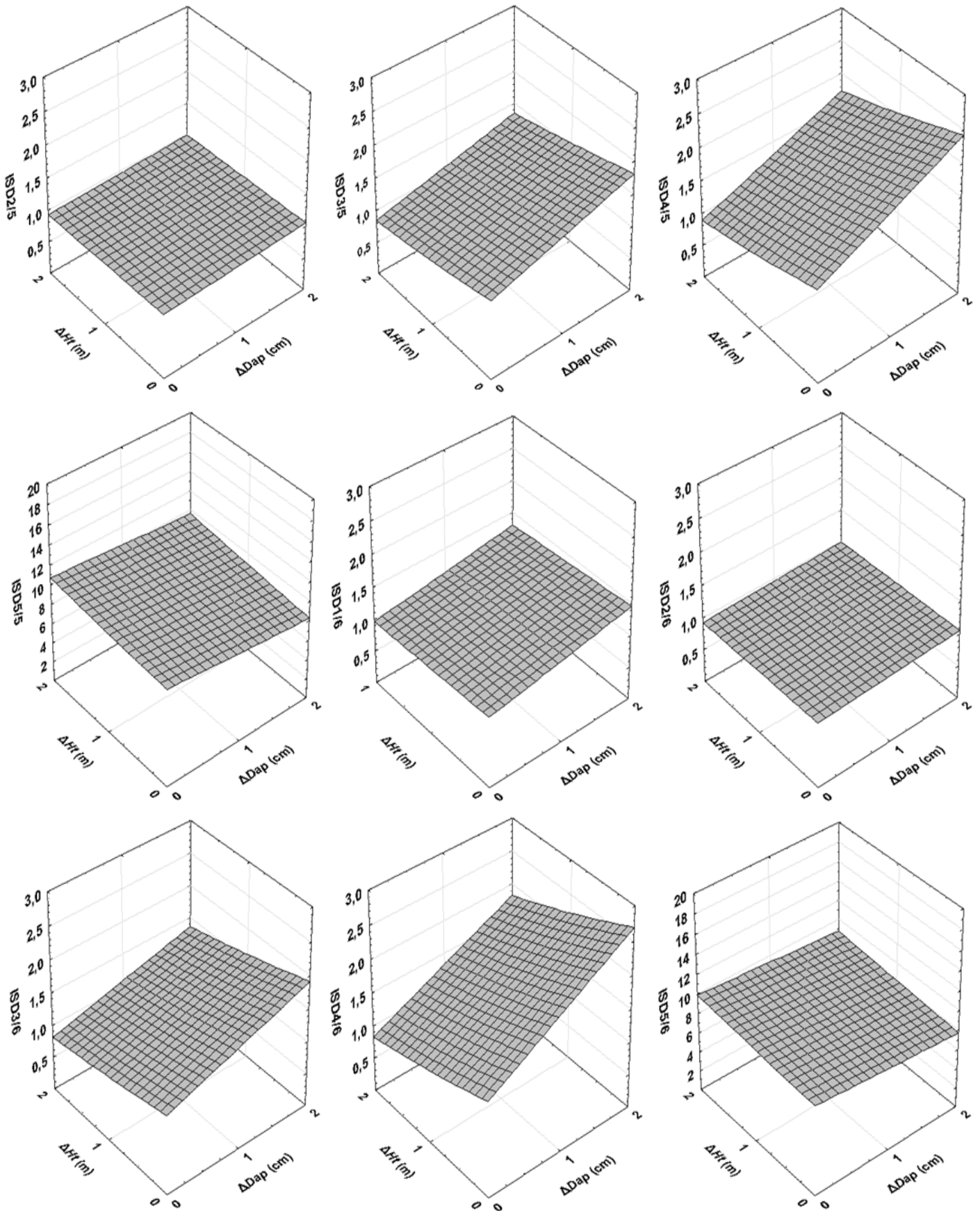
Grupo	DAP $\pm$ Desvio padrão	H $\pm$ Desvio padrão
Todas	11,3 $\pm$ 3,2	10,8 $\pm$ 2,7
Pioneiras	10,9 $\pm$ 3,7	9,8 $\pm$ 2,9
Secundárias iniciais	9,7 $\pm$ 3,0	10,3 $\pm$ 2,9
Secundárias tardias	9,9 $\pm$ 3,1	9,3 $\pm$ 2,8
Clímax	11,4 $\pm$ 4,3	9,6 $\pm$ 2,9
Heliófilas	9,8 $\pm$ 3,1	9,7 $\pm$ 2,9
Umbrófilas	11,4 $\pm$ 4,0	9,9 $\pm$ 2,9

Observa-se pelos gráficos (Figura 3), que o crescimento médio em diâmetro e em altura, apresentou uma tendência semelhante quando correlacionados com todos os índices de competição, independentes e semidependentes. O comportamento dos índices de competição dos gráficos abaixo é influenciado pelas variáveis dendrométricas agregadas em cada índice, no qual cada um respondeu de acordo a variável dendrométrica presente em sua equação.

O comportamento da relação entre os índices BAL, independentes e semidependente da distância, e a variação do crescimento em diâmetro e altura, é consequência da estrutura da formulação desse índice. Quando o valor do índice é elevado, consequentemente implica numa forte competição exercida pelas árvores circunvizinhas sobre a árvore-objeto, acarretando num menor crescimento em diâmetro e altura.







Em que: IID1, IID2, IID3, IID4 e IDD5: Índices independentes da distância; ISD1/2, ISD2/2, ISD3/2, ISD4/2 e ISD5/2: índices semidependentes da distância com raios de 2 metros, respectivamente; ISD1/3,

ISD2/3, ISD3/3, ISD4/3 e ISD5/3: índices semidependentes da distância com raios de 3 metros, respectivamente; ISD1/4, ISD2/4, ISD3/4, ISD4/4 e ISD5/4: índices semidependentes da distância com raios de 4 metros, respectivamente; ISD1/5, ISD2/5, ISD3/5, ISD4/5 e ISD5/5: índices semidependentes da distância com raios de 5 metros, respectivamente; ISD1/6, ISD2/6, ISD3/6, ISD4/6 e ISD5/6: índices semidependentes da distância com raios de 6 metros, respectivamente;  $\Delta$ Dap: Variação do crescimento em diâmetro;  $\Delta$ Ht: Variação do crescimento em altura.

Figura 3 - Índices de competição independentes e semidependentes da distância em função do crescimento periódico anual em diâmetro e altura.

Castro (2011), quando avaliou a competição de um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual no Município de Viçosa-MG, constatou que este comportamento indica que, de forma geral, fustes que apresentam sua variável dendrométrica inferior à média dos fustes vizinhos, apresentarão menores índices, resultando em menor crescimento. Outros trabalhos, como os de Tomé e Burkhart (1989) e Martins et al. (2011), constataram a mesma tendência, exceto para o índice BAL.

Segundo Chassot et al. (2011), os índices de Glover e Hool expressam a ideia de que quanto maior os seus valores, menor seria a concorrência que a árvore está submetida, assim, apresentaria maior crescimento. Pode-se observar que ambos os índices devem expressar a pressão competitiva a que uma árvore está submetida.

O índice de competição BAL se apresenta de forma diferente aos demais. Uma vez que esse índice expressa a competição pertinente de todos os indivíduos circunvizinhos, de tamanho superior à árvore-objeto, espera-se, portanto, que quanto menor os valores desses índices, maior o diâmetro da árvore e conseqüentemente menor a concorrência sob a qual a árvore-objeto está submetida. A partir disso, explica-se o fato de que a maioria das correlações encontradas para este índice é negativa, atende-se, portanto, ao realismo biológico inerente ao índice de competição supracitado.

As correlações que apresentaram significância, na sua maioria, foram derivadas da interação entre os índices de competição e o crescimento em diâmetro. Já para o crescimento em altura, quando se verifica a competição para todas as espécies do fragmento, sem qualquer forma de agrupamento, percebe-se que as correlações apresentaram poucos valores significativos, quanto aos índices de competição aplicados no presente estudo (Tabela 4).

Tabela 4 - Correlações lineares, em percentagem, entre índices de competição independentes e semidependentes da distância, com diferentes raios de influência, e as variáveis  $\Delta DAP$  e  $\Delta Ht$ , para todos os indivíduos sem classificação por agrupamento.

Índice	Área da Competição	$\Delta DAP$	$\Delta Ht$
		----- % -----	-----
IID1	Área da parcela	5,53*	1,07 <sup>n.s</sup>
IID2	Área da parcela	8,27*	-0,71 <sup>n.s</sup>
IID3	Área da parcela	7,32*	-0,46 <sup>n.s</sup>
IID4	Área da parcela	7,85*	-0,60 <sup>n.s</sup>
IID5	Área da parcela	-9,69*	3,63*
ISD1/ 2	Raio de 2 m em relação à árvore-objeto	7,31*	4,30*
ISD2/ 2	Raio de 2 m em relação à árvore-objeto	8,42*	1,21 <sup>n.s</sup>
ISD3/ 2	Raio de 2 m em relação à árvore-objeto	7,82*	3,34 <sup>n.s</sup>
ISD4/ 2	Raio de 2 m em relação à árvore-objeto	7,92*	5,02*
ISD5/ 2	Raio de 2 m em relação à árvore-objeto	-1,47 <sup>n.s</sup>	-2,60 <sup>n.s</sup>
ISD1/ 3	Raio de 3 m em relação à árvore-objeto	7,34*	3,41 <sup>n.s</sup>
ISD2/ 3	Raio de 3 m em relação à árvore-objeto	8,45*	-0,20 <sup>n.s</sup>
ISD3/ 3	Raio de 3 m em relação à árvore-objeto	8,35*	2,72 <sup>n.s</sup>
ISD4/ 3	Raio de 3 m em relação à árvore-objeto	8,06*	4,41*
ISD5/ 3	Raio de 3 m em relação à árvore-objeto	-2,26 <sup>n.s</sup>	-0,54 <sup>n.s</sup>
ISD1/ 4	Raio de 4 m em relação à árvore-objeto	4,41*	3,76*
ISD2/ 4	Raio de 4 m em relação à árvore-objeto	8,47*	0,97 <sup>n.s</sup>
ISD3/ 4	Raio de 4 m em relação à árvore-objeto	5,77*	2,75 <sup>n.s</sup>
ISD4/ 4	Raio de 4 m em relação à árvore-objeto	6,85*	3,89*
ISD5/ 4	Raio de 4 m em relação à árvore-objeto	-3,60*	-1,87 <sup>n.s</sup>
ISD1/ 5	Raio de 5 m em relação à árvore-objeto	5,32*	3,72*
ISD2/ 5	Raio de 5 m em relação à árvore-objeto	8,16*	0,91 <sup>n.s</sup>
ISD3/ 5	Raio de 5 m em relação à árvore-objeto	6,37*	2,50 <sup>n.s</sup>
ISD4/ 5	Raio de 5 m em relação à árvore-objeto	7,52*	3,59 <sup>n.s</sup>
ISD5/ 5	Raio de 5 m em relação à árvore-objeto	-4,86*	-1,65 <sup>n.s</sup>
ISD1/ 6	Raio de 6 m em relação à árvore-objeto	3,33 <sup>n.s</sup>	3,68*
ISD2/ 6	Raio de 6 m em relação à árvore-objeto	8,05*	0,41 <sup>n.s</sup>
ISD3/ 6	Raio de 6 m em relação à árvore-objeto	4,04*	2,31 <sup>n.s</sup>
ISD4/ 6	Raio de 6 m em relação à árvore-objeto	4,37*	3,59*
ISD5/ 6	Raio de 6 m em relação à árvore-objeto	-5,42*	-1,17 <sup>n.s</sup>

\*indicam correlações significativas e n.s. indicam correlações não significativas, a 95% de probabilidade.

Segundo Castro (2011), a obtenção de baixas correlações pode ser explicada devido ao alto nível de composição da floresta, já que possui uma elevada heterogeneidade no que se refere às espécies, idades das árvores e condições gerais de crescimento e sanidade, dentre outros. Mesmo com valores baixos, a correlação simples com o crescimento em diâmetro e altura tem sido um critério comum para a seleção de índices de competição (WEBER et al., 2008).

O aumento é perceptível nos valores das correlações referentes ao crescimento, quando é avaliada a competição em florestas equiâneas, nas quais árvores de mesmo tamanho possuem taxas de crescimento semelhantes, esse comportamento foi confirmado por Martins et al. (2011), mas vale ressaltar que este tipo de floresta tem sob controle as variáveis que influenciam no crescimento, tais quais, condições favoráveis de nutrição e fertilidade de solo, umidade, idade, entre outros.



Todos os índices, independentes da distância e os semidependentes, com raios de 4 e 5 metros de influência, de forma generalizada, se destacaram, uma vez que as correlações se mostraram superiores e significativas para o crescimento em diâmetro, nas quais possibilitaram caracterizar a competição para todos os indivíduos do fragmento.

Ao verificar as correlações entre os índices de competição e o crescimento em altura, nota-se, predominantemente, valores negativos e não significativos. Isso implica que o crescimento em altura não é recomendável, quando se tem a pretensão de avaliar a competição florestal por meio de índices de competição, uma vez que, inclusive os índices de competição, que têm a variável altura em sua formulação, não apresentaram bons resultados.

A competição florestal no fragmento em questão é notória pela significância da maioria das correlações obtidas. Quando se observa as correlações entre os índices aplicados e o crescimento em diâmetro, nota-se que o índice independente da distância BAL apresentou a maior correlação, em módulo, dentre os demais.

Todos os índices, independentes e semidependentes da distância, que corresponde ao somatório das áreas seccionais das árvores maiores do que a árvore-objeto, teve as correlações negativas para o crescimento diamétrico, com destaque para os índices ISD5/2 e ISD5/3, que não foram significativas na avaliação da competição florestal, o que implica dizer que os índices semidependentes da distância, com raios de 2 e 3 metros, não explicam satisfatoriamente a competição entre os indivíduos para o intervalo de medição analisado.

Resultados semelhantes foram encontrados por Chassot et al. (2011), quando se verificou a competição entre indivíduos de *Araucaria angustifolia*, onde o diâmetro apresentou uma correlação negativa com os índices de concorrência BAL. Atendendo-se ao fato de serem formações florestais completamente diferentes em suas composições, pode-se aferir que este comportamento implica na relação de que quanto menor os valores desses índices, maior o diâmetro e crescimento da árvore objeto. Uma das explicações para obtenção destes resultados é devido a relação entre o tamanho do diâmetro e a competição, sendo que, quanto menor o índice de BAL, menor é a concorrência sob a qual a árvore está submetida, e conseqüentemente, apresenta maior diâmetro, conseqüentemente, crescimento superior.

Martins et al. (2011), analisaram a competição entre indivíduos em povoamento de *Eucalyptus sp.* e também encontraram resultados que se assemelham com os

resultados obtidos no presente trabalho, nos quais as correlações foram todas negativas para o crescimento em diâmetro e os índices BAL. Vale ressaltar que esse comparativo é feito em condições totalmente diferentes da vegetação, objeto de estudo, do presente trabalho.

De acordo com Monserud e Sterba (1999), além de Eid e Tuhus (2001), o índice BAL é um excelente índice de competição, pois não necessita de informações espaciais de cada árvore, contudo, no presente trabalho, este índice foi empregado de acordo um intervalo de diferentes raios de influência. Os autores supracitados, afirmaram que o índice BAL deve ser associado a uma medida da copa das árvores (fator de copa), para se avaliar melhor a competição, o que não foi adotado no trabalho em questão.

Depreende-se, portanto, que o comportamento do índice BAL está relacionado com o nível de complexidade pertinente ao tipo de vegetação analisado, bem como as variáveis que podem influenciar no aumento da área basal dos indivíduos.

Cunha (2009) avaliou a competição de outras árvores sobre indivíduos da espécie *Cedrela odorata*, e pôde-se concluir que o índice BAL não teve capacidade para explicar a variação no crescimento, possivelmente devido ao fato de que árvores mais grossas não exercem competição suficiente para interferir sobre o crescimento do cedro.

Quando os indivíduos são classificados em grupos sucessionais (pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias e clímax) percebe-se nitidamente diferenças nos valores das correlações (Tabela 5). O grupo das pioneiras apresentou apenas os índices BAL's, independente da distância e o com raios de 5 e 6 metros, como os três índices que obtiveram correlações significativas dentre as quatro significativas, quando correlacionado com o crescimento em diâmetro. Em contrapartida, todos os índices deste grupo, apresentaram correlações não significativas, quando se levou em consideração o crescimento em altura.

A vantagem na avaliação da competição pelo índice BAL, segundo Martins (2011), é a sua forma menos complexa e seu realismo biológico, uma vez que este índice utiliza a área basal como variável independente, que por si só demonstra o *status* competitivo de cada árvore, sem a necessidade de incorporar outras variáveis no modelo.

Em povoamentos nativos heterogêneos e multiâneos, as diversas espécies apresentam características genéticas distintas, adaptadas a nichos ecológicos específicos (VACCARO, 2002). Portanto, em florestas naturais, o comportamento do crescimento

pode gerar respostas diferenciadas de acordo com a maior ou menor distância do habitat preferencial e sua posição na estrutura florestal.

Rodrigues et al. (2012) classificaram indivíduos arbóreos em grupos ecológicos, na qual foi baseada em observações de campo e consulta a bibliografia, porém, diferente da metodologia do presente trabalho, a classificação foi em três grupos principais: espécies exigentes de luz ou heliófilas; espécies tolerantes à sombra ou umbrófilas e espécies indiferentes à quantidade de luz ou generalistas. Da mesma forma, Durigan et al. (2004), propuseram distinguir espécies entre as categorias de tolerantes e intolerantes à sombra, sendo esta classificação baseada em dados de literatura e em observações empíricas sobre os seus locais de distribuição no campo.

Pode-se observar que, em praticamente todos os índices, as correlações aumentam na medida em que o estágio sucessional avança de pioneiras ao grupo sucessional clímax. Nota-se que as correlações, para um mesmo índice, no grupo das espécies clímax, são sempre maiores que as pioneiras. Isso sugere que a variação no crescimento das árvores dos estágios mais avançados de sucessão ecológica possui um padrão de crescimento mais regular que aquelas espécies de grupos menos avançados.

Haja visto que o componente florestal tende a se estabilizar em termos de crescimento, alcançando o estágio clímax, Carvalho et al. (1997) relatou que além de existir a variação de crescimento entre espécies, pode haver variação dentro de uma mesma espécie, considerando que pode haver diferença no tamanho e iluminação das copas, além da influência dos fatores genéticos.

Atendendo a essas características, Silva (1996) observou que as diferenças de crescimento entre os grupos ecológicos de espécies são importantes e, portanto, devem ser levadas em conta, quando se trata de modelar o crescimento da floresta.

Tabela 5 - Correlações lineares, em percentagem, entre índices de competição independentes e semidependentes da distância, com diferentes raios de influência, e as variáveis  $\Delta$  DAP e  $\Delta$  Ht, para os indivíduos classificados de acordo com o grupo ecológico.

Índice	Área da Competição	Pioneiras		Secundárias iniciais		Secundárias tardias		Clímax	
		$\Delta$ DAP	$\Delta$ Ht	$\Delta$ DAP	$\Delta$ Ht	$\Delta$ DAP	$\Delta$ Ht	$\Delta$ DAP	$\Delta$ Ht
		----- % -----							
IID1	Área da parcela	1,99 <sup>n.s.</sup>	-1,60 <sup>n.s.</sup>	4,79*	0,12 <sup>n.s.</sup>	8,21 <sup>n.s.</sup>	7,47 <sup>n.s.</sup>	28,36*	3,40 <sup>n.s.</sup>
IID2	Área da parcela	5,54 <sup>n.s.</sup>	-2,13 <sup>n.s.</sup>	7,75*	-0,60 <sup>n.s.</sup>	15,07 <sup>n.s.</sup>	2,53 <sup>n.s.</sup>	23,39*	-2,95 <sup>n.s.</sup>
IID3	Área da parcela	3,24 <sup>n.s.</sup>	-2,21 <sup>n.s.</sup>	6,98*	-1,14 <sup>n.s.</sup>	7,50 <sup>n.s.</sup>	2,29 <sup>n.s.</sup>	31,21*	4,46 <sup>n.s.</sup>
IID4	Área da parcela	2,63 <sup>n.s.</sup>	0,43 <sup>n.s.</sup>	8,12*	-1,07	5,06 <sup>n.s.</sup>	1,01 <sup>n.s.</sup>	29,49*	2,61 <sup>n.s.</sup>
IID5	Área da parcela	-8,29*	6,45 <sup>n.s.</sup>	-9,50*	4,19 <sup>n.s.</sup>	-11,84*	1,20 <sup>n.s.</sup>	-24,31*	-5,32 <sup>n.s.</sup>
ISD1/ 2	Raio de 2 m em relação à árvore-objeto	-2,17 <sup>n.s.</sup>	0,88 <sup>n.s.</sup>	8,67*	4,74*	7,07 <sup>n.s.</sup>	7,39 <sup>n.s.</sup>	22,45*	3,70 <sup>n.s.</sup>
ISD2/ 2	Raio de 2 m em relação à árvore-objeto	6,59 <sup>n.s.</sup>	0,34 <sup>n.s.</sup>	9,42*	2,79 <sup>n.s.</sup>	8,39*	-1,42 <sup>n.s.</sup>	16,93*	3,01 <sup>n.s.</sup>
ISD3/ 2	Raio de 2 m em relação à árvore-objeto	-0,33 <sup>n.s.</sup>	1,24 <sup>n.s.</sup>	8,73*	4,11 <sup>n.s.</sup>	7,24 <sup>n.s.</sup>	3,34 <sup>n.s.</sup>	23,18*	4,84 <sup>n.s.</sup>
ISD4/ 2	Raio de 2 m em relação à árvore-objeto	-3,07 <sup>n.s.</sup>	1,95 <sup>n.s.</sup>	10,36*	5,92*	5,97 <sup>n.s.</sup>	6,93 <sup>n.s.</sup>	20,36*	3,32 <sup>n.s.</sup>
ISD5/ 2	Raio de 2 m em relação à árvore-objeto	-2,99 <sup>n.s.</sup>	5,40 <sup>n.s.</sup>	-1,22 <sup>n.s.</sup>	-5,20*	-3,10 <sup>n.s.</sup>	-1,47 <sup>n.s.</sup>	-13,40*	-1,06 <sup>n.s.</sup>
ISD1/ 3	Raio de 3 m em relação à árvore-objeto	-1,15 <sup>n.s.</sup>	-2,14 <sup>n.s.</sup>	7,70*	4,11 <sup>n.s.</sup>	10,00*	7,59 <sup>n.s.</sup>	24,66*	1,26 <sup>n.s.</sup>
ISD2/ 3	Raio de 3 m em relação à árvore-objeto	6,48 <sup>n.s.</sup>	-3,36 <sup>n.s.</sup>	8,04*	1,23 <sup>n.s.</sup>	14,58*	0,63 <sup>n.s.</sup>	21,10*	-0,06 <sup>n.s.</sup>
ISD3/ 3	Raio de 3 m em relação à árvore-objeto	0,94 <sup>n.s.</sup>	-2,13 <sup>n.s.</sup>	8,45*	3,91 <sup>n.s.</sup>	10,44*	3,60 <sup>n.s.</sup>	26,49*	2,38 <sup>n.s.</sup>
ISD4/ 3	Raio de 3 m em relação à árvore-objeto	-1,91 <sup>n.s.</sup>	-1,16 <sup>n.s.</sup>	8,85*	5,60*	9,63*	6,81 <sup>n.s.</sup>	23,72*	1,54 <sup>n.s.</sup>
ISD5/ 3	Raio de 3 m em relação à árvore-objeto	-2,64 <sup>n.s.</sup>	5,40 <sup>n.s.</sup>	-2,34 <sup>n.s.</sup>	-2,48 <sup>n.s.</sup>	-6,28 <sup>n.s.</sup>	-1,54 <sup>n.s.</sup>	-5,40 <sup>n.s.</sup>	4,42 <sup>n.s.</sup>
ISD1/ 4	Raio de 4 m em relação à árvore-objeto	-1,90 <sup>n.s.</sup>	0,53 <sup>n.s.</sup>	3,24 <sup>n.s.</sup>	3,26 <sup>n.s.</sup>	11,46*	9,06 <sup>n.s.</sup>	21,67*	1,92 <sup>n.s.</sup>
ISD2/ 4	Raio de 4 m em relação à árvore-objeto	5,86 <sup>n.s.</sup>	-0,79 <sup>n.s.</sup>	7,75*	1,56 <sup>n.s.</sup>	16,49*	2,89 <sup>n.s.</sup>	19,28*	-0,73 <sup>n.s.</sup>
ISD3/ 4	Raio de 4 m em relação à árvore-objeto	0,25 <sup>n.s.</sup>	0,82 <sup>n.s.</sup>	4,41 <sup>n.s.</sup>	2,93 <sup>n.s.</sup>	12,45*	4,12 <sup>n.s.</sup>	22,90*	2,14 <sup>n.s.</sup>
ISD4/ 4	Raio de 4 m em relação à árvore-objeto	-2,33 <sup>n.s.</sup>	1,54 <sup>n.s.</sup>	6,46*	3,71 <sup>n.s.</sup>	11,46*	7,22 <sup>n.s.</sup>	20,47*	1,86 <sup>n.s.</sup>
ISD5/ 4	Raio de 4 m em relação à árvore-objeto	-4,29 <sup>n.s.</sup>	0,21 <sup>n.s.</sup>	-3,20 <sup>n.s.</sup>	-2,06 <sup>n.s.</sup>	-8,25*	-4,94 <sup>n.s.</sup>	-8,78 <sup>n.s.</sup>	-0,19 <sup>n.s.</sup>
ISD1/ 5	Raio de 5 m em relação à árvore-objeto	-0,60 <sup>n.s.</sup>	-0,43 <sup>n.s.</sup>	4,56 <sup>n.s.</sup>	3,93 <sup>n.s.</sup>	10,29*	8,20 <sup>n.s.</sup>	24,73*	2,13 <sup>n.s.</sup>
ISD2/ 5	Raio de 5 m em relação à árvore-objeto	7,45 <sup>n.s.</sup>	-0,36 <sup>n.s.</sup>	7,20*	1,97 <sup>n.s.</sup>	15,69*	1,66 <sup>n.s.</sup>	18,94*	-1,60 <sup>n.s.</sup>
ISD3/ 5	Raio de 5 m em relação à árvore-objeto	1,07 <sup>n.s.</sup>	-0,40 <sup>n.s.</sup>	5,62*	3,21 <sup>n.s.</sup>	10,26*	2,94 <sup>n.s.</sup>	26,33*	2,55 <sup>n.s.</sup>
ISD4/ 5	Raio de 5 m em relação à árvore-objeto	-1,08 <sup>n.s.</sup>	0,04 <sup>n.s.</sup>	7,39*	4,11 <sup>n.s.</sup>	9,71*	5,83 <sup>n.s.</sup>	25,33*	2,47 <sup>n.s.</sup>
ISD5/ 5	Raio de 5 m em relação à árvore-objeto	-8,50*	0,19 <sup>n.s.</sup>	-3,83 <sup>n.s.</sup>	-1,34 <sup>n.s.</sup>	-8,37*	-4,50 <sup>n.s.</sup>	-12,27*	-3,43 <sup>n.s.</sup>
ISD1/ 6	Raio de 6 m em relação à árvore-objeto	0,32 <sup>n.s.</sup>	0,33 <sup>n.s.</sup>	1,83 <sup>n.s.</sup>	3,25 <sup>n.s.</sup>	11,15*	9,94 <sup>n.s.</sup>	23,51*	2,38 <sup>n.s.</sup>
ISD2/ 6	Raio de 6 m em relação à árvore-objeto	9,01*	-0,17 <sup>n.s.</sup>	6,50*	0,75 <sup>n.s.</sup>	16,75*	2,51 <sup>n.s.</sup>	20,04*	-1,58 <sup>n.s.</sup>
ISD3/ 6	Raio de 6 m em relação à árvore-objeto	2,28 <sup>n.s.</sup>	0,37 <sup>n.s.</sup>	2,46 <sup>n.s.</sup>	2,46 <sup>n.s.</sup>	11,29*	4,12 <sup>n.s.</sup>	24,75*	3,11 <sup>n.s.</sup>
ISD4/ 6	Raio de 6 m em relação à árvore-objeto	0,13 <sup>n.s.</sup>	1,27 <sup>n.s.</sup>	3,56 <sup>n.s.</sup>	3,67 <sup>n.s.</sup>	9,49*	7,40 <sup>n.s.</sup>	23,63*	2,11 <sup>n.s.</sup>
ISD5/ 6	Raio de 6 m em relação à árvore-objeto	-8,40*	0,50 <sup>n.s.</sup>	-4,87*	-1,11 <sup>n.s.</sup>	-7,38 <sup>n.s.</sup>	-4,93 <sup>n.s.</sup>	-14,18*	0,46 <sup>n.s.</sup>

\*indicam correlações significativas e n.s. indicam correlações não significativas, a 95% de probabilidade.

A maioria das correlações entre o crescimento diamétrico e os índices de competição foi significativa no grupo das secundárias iniciais. Como destaque, tem-se o índice semidependente da distância com raio de influência de 2 metros (ISD4/2), no qual apresentou a maior correlação significativa para o presente grupo.

Para o crescimento em altura, o melhor índice que obteve a melhor correlação também foi o ISD4, com raio de 2 metros. Pesquisadores afirmam que o emprego do raio de competição de 6 m mostra resultados superiores aos demais raios, nos quais corroboram com estudos que também identificaram o mesmo raio de competição em outras formações florestais (BELAND et al., 2003). Todavia, para o estudo em questão, e para diferentes formas de classificação dos indivíduos arbóreos, o raio de 2 metros se mostrou eficaz para analisar a competição no grupo ecológico das secundárias iniciais.

Diferentemente dos índices com o raio de 2 metros de influência, o grupo das secundárias tardias apresentou como melhor índice o semidependente da distância, com raio de 6 m, ISD2/6, em que apresentou 16,75%, como a maior correlação com o incremento diamétrico. Ao verificar-se as correlações com o crescimento em altura, observou-se que nenhum índice demonstrou correlação significativa, o que pode-se deduzir que a relação entre o crescimento em altura e os índices não é indicada para analisar a competição entre espécies deste grupo, para um intervalo de tempo igual ao empregado no estudo em questão.

Nota-se no grupo clímax (Tabela 5), que apenas os índices BAL's, com raios de influência de 3 e 4 metros, não apresentaram correlações significativas. Quando levou-se em consideração o crescimento diamétrico, de 31,21%, o IID3 apresentou este valor como a maior correlação significativa dentre todos os grupos sucessionais avaliados. É válido dar ênfase que este índice é derivado da razão da combinação de variáveis dendrométricas do fuste da árvore-objeto em relação a média das mesmas variáveis dos fustes das árvores qualificadas como vizinhas, o que pode-se pressupor que o arranjo entre variáveis dendrométricas pode acarretar em resultados mais representativos da competição.

Com os resultados obtidos nesta pesquisa, observa-se superioridade nos valores das correlações entre o índice BAL, sem raios de influência, no grupo clímax, em relação ao trabalho de Castro et al. (2011). Este Autor encontrou uma correlação de 20%, enquanto o presente estudo teve uma correlação de 24,31%, em módulo, referentes ao crescimento diamétrico. Porém, para a correlação entre os índices e o crescimento em altura, o Autor supracitado encontrou 12% como a maior correlação, enquanto que para o presente estudo, não foram obtidas correlações significativas. Vale ressaltar o fato de que os dados empregados neste trabalho são caracterizados com o mesmo tipo de vegetação do estudo citado acima, em que possibilita uma maior consistência no contraste entre ambas as pesquisas.

A análise do grupo sucessional Clímax demonstrou que os índices independentes da distância, assim como os semidependentes com raios de 2, 5 e 6 metros de influência, foram adequadas para a avaliação da competição. Ao observar a classificação dos indivíduos em grupos de acordo a exigência por luz, heliófilas e umbrófilas, percebe-se que as correlações foram inferiores (Tabela 6) às encontradas quando os indivíduos são organizados de acordo o grupo sucessional.

De acordo com Carvalho (1997), o fator principal na determinação do comportamento das espécies é a radiação solar. Partindo desse pressuposto, foi pertinente avaliar a competição florestal por grupos definidos como tolerantes e não tolerantes à sombra, heliófilas e umbrófilas, respectivamente.

As correlações entre o crescimento diamétrico e os índices de competição que os grupos das heliófilas e umbrófilas apresentaram, respectivamente, em módulo, 9,42 e 10,42%, como sendo as maiores. Ambas foram obtidas a partir do emprego do índice BAL. Sendo que para esses dois grupos, o índice BAL não levou em consideração o raio de influência, IID5. Alguns autores recomendam incluir na modelagem, índices de competição que desconsideram o espaço (FOX et al., 2007). Todavia, para o grupo das umbrófilas, os índices semidependentes da distância com raios de 4, 5 e 6 metros apresentaram correlações significativas, independentemente do índice adotado.

Tabela 6 - Correlações lineares, em percentagem, entre índices de competição independentes e semidependentes da distância, com diferentes raios de influência, e as variáveis  $\Delta$  DAP e  $\Delta$  Ht, para todos os indivíduos classificados de acordo a exigência por luz em heliófilas e umbrófilas.

Índice	Área da Competição	Heliófilas		Umbrófilas	
		$\Delta$ DAP	$\Delta$ Ht	$\Delta$ DAP	$\Delta$ Ht
		----- % -----			
IID1	Área da parcela	5,19*	-0,03 <sup>n.s</sup>	5,79*	1,41 <sup>n.s</sup>
IID2	Área da parcela	7,17*	-1,52 <sup>n.s</sup>	9,39*	0,05 <sup>n.s</sup>
IID3	Área da parcela	7,30*	-0,92 <sup>n.s</sup>	7,49*	-0,45 <sup>n.s</sup>
IID4	Área da parcela	8,11*	-0,75 <sup>n.s</sup>	8,01*	-0,81 <sup>n.s</sup>
IID5	Área da parcela	-9,42*	4,23*	-10,42*	2,73 <sup>n.s</sup>
ISD1/ 2	Raio de 2 m em relação à árvore-objeto	7,44*	3,51 <sup>n.s</sup>	8,83*	5,26*
ISD2/ 2	Raio de 2 m em relação à árvore-objeto	8,48*	1,89 <sup>n.s</sup>	9,37*	1,79 <sup>n.s</sup>
ISD3/ 2	Raio de 2 m em relação à árvore-objeto	7,98*	3,35 <sup>n.s</sup>	8,93*	3,92*
ISD4/ 2	Raio de 2 m em relação à árvore-objeto	8,43*	4,51*	9,73*	5,93*
ISD5/ 2	Raio de 2 m em relação à árvore-objeto	-1,24 <sup>n.s</sup>	-2,85 <sup>n.s</sup>	-1,75 <sup>n.s</sup>	-4,20*
ISD1/ 3	Raio de 3 m em relação à árvore-objeto	6,96*	2,34 <sup>n.s</sup>	8,63*	4,70*
ISD2/ 3	Raio de 3 m em relação à árvore-objeto	7,48*	-0,33 <sup>n.s</sup>	9,50*	1,00 <sup>n.s</sup>
ISD3/ 3	Raio de 3 m em relação à árvore-objeto	8,11*	2,48 <sup>n.s</sup>	9,28*	3,69 <sup>n.s</sup>
ISD4/ 3	Raio de 3 m em relação à árvore-objeto	7,91*	3,75 <sup>n.s</sup>	9,31*	5,58*
ISD5/ 3	Raio de 3 m em relação à árvore-objeto	-1,72 <sup>n.s</sup>	-0,34 <sup>n.s</sup>	-2,83 <sup>n.s</sup>	-1,83 <sup>n.s</sup>
ISD1/ 4	Raio de 4 m em relação à árvore-objeto	3,25 <sup>n.s</sup>	2,47 <sup>n.s</sup>	5,20*	4,47*
ISD2/ 4	Raio de 4 m em relação à árvore-objeto	7,16*	0,55 <sup>n.s</sup>	9,49*	1,75 <sup>n.s</sup>
ISD3/ 4	Raio de 4 m em relação à árvore-objeto	4,65*	2,40 <sup>n.s</sup>	6,29*	3,13 <sup>n.s</sup>
ISD4/ 4	Raio de 4 m em relação à árvore-objeto	6,13*	3,07 <sup>n.s</sup>	7,61*	4,33*
ISD5/ 4	Raio de 4 m em relação à árvore-objeto	-2,78 <sup>n.s</sup>	-1,13 <sup>n.s</sup>	-4,21*	-2,68 <sup>n.s</sup>
ISD1/ 5	Raio de 5 m em relação à árvore-objeto	4,60*	2,81 <sup>n.s</sup>	6,04*	4,55*
ISD2/ 5	Raio de 5 m em relação à árvore-objeto	6,95*	0,79 <sup>n.s</sup>	8,96*	1,61 <sup>n.s</sup>
ISD3/ 5	Raio de 5 m em relação à árvore-objeto	5,82*	2,44 <sup>n.s</sup>	6,84*	2,98 <sup>n.s</sup>
ISD4/ 5	Raio de 5 m em relação à árvore-objeto	7,24*	3,22 <sup>n.s</sup>	8,12*	4,11*
ISD5/ 5	Raio de 5 m em relação à árvore-objeto	-4,23*	-0,94 <sup>n.s</sup>	-4,99*	-2,33 <sup>n.s</sup>
ISD1/ 6	Raio de 6 m em relação à árvore-objeto	2,19 <sup>n.s</sup>	2,39 <sup>n.s</sup>	3,84*	4,43*
ISD2/ 6	Raio de 6 m em relação à árvore-objeto	6,60*	-0,04 <sup>n.s</sup>	8,70*	1,00 <sup>n.s</sup>
ISD3/ 6	Raio de 6 m em relação à árvore-objeto	2,98 <sup>n.s</sup>	1,94 <sup>n.s</sup>	4,27*	2,69 <sup>n.s</sup>
ISD4/ 6	Raio de 6 m em relação à árvore-objeto	3,75 <sup>n.s</sup>	2,99 <sup>n.s</sup>	4,68*	3,99*
ISD5/ 6	Raio de 6 m em relação à árvore-objeto	-5,11*	-0,21 <sup>n.s</sup>	-5,80*	-1,94 <sup>n.s</sup>

\*indicam correlações significativas e n.s. indicam correlações não significativas, a 95% de probabilidade.

A partir da análise da competição por grupos, classificados de acordo a exigência por luz, verificou-se a influência da competição no crescimento em altura para estes dois grupos. O grupo das heliófilas teve apenas duas correlações significativas, a maior obtida pelo ISD4 com raio de influência de 2 metros.

Para o grupo das umbrófilas, este mesmo índice apresentou a maior correlação dentre os demais. De acordo com Carvalho (1997) e Vaccaro (2002) as espécies intolerantes à sombra crescem mais rápido que aquelas dos demais grupos ecológicos. Quando se analisa o comportamento desses grupos em relação ao tamanho, os autores supracitados apontam que normalmente as árvores grandes crescem mais rápido em diâmetro, tanto em floresta virgem como explorada, devido as árvores grandes terem mais possibilidades de ter suas copas completamente expostas à luz; e por terem maiores copas, apresentam uma maior produção líquida.

Deve-se destacar que o índice BAL, independente e semidependente da distância, não apresentou resultados satisfatórios na avaliação da competição por grupos classificados de acordo a exigência por luz. Portanto, não é aconselhado o emprego deste índice para avaliar a competição florestal de acordo com o crescimento em altura. Este comportamento pode ser explicado pelo fato da sua fórmula funcional, na qual leva em consideração a área basal dos indivíduos circunvizinhos.

Apesar de os trabalhos, que analisam a competição florestal, ganharem cada vez mais notoriedade nas Ciências Florestais, a execução desses estudos ainda apresenta gargalos bem mais complexos quando o seu objeto é floresta natural. Contudo, Pesquisadores como Daniels et al. (1986), Fox et al. (2007) e Chassot et al. (2011), relataram que não há confirmação da superioridade universal de um tipo de índice sobre o outro nem sobre qual é o melhor índice dentro de cada categoria, muito menos quanto ao emprego de cada categoria de índices para grupos sucessionais.

#### **4. CONCLUSÕES**

- O índice BAL, sem raio de influência, obteve o melhor desempenho para analisar a influência da competição no crescimento dos indivíduos no fragmento estudado;
- Avaliar a competição por grupo ecológico se mostrou mais eficaz, visto que apresentou correlações superiores, além de possibilitar um maior nível de detalhamento das características das espécies presentes no fragmento estudado;
- Os resultados obtidos no presente estudo confirmam que a competição florestal não pode ser determinada apenas pela aplicação de um raio fixo de influência dos vizinhos em relação a árvore-objeto;
- A análise da competição florestal, avaliada por índices de competição, pode subsidiar premissas fundamentais, sejam elas voltadas para a implantação de manejo florestal, bem como para a conservação e recuperação de remanescentes florestais com características ecológicas e produtivas semelhantes às do fragmento estudado.



## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDER, D. **Permanent Sample Plot Data Analysis and Growth Modelling for Mixed Tropical Forest**. Tropical Forestry Paper, Oxford Forestry Institute, Department of Plant Sciences, University of Oxford. 1995.
- ALIG, R.J.; PARKS, P.J.; FARRAR JR. R.M.; VASIEVIECH, J.M. Regional timber yield and cost information for the South: Modelings techniques. Washington: **USDA**, p. 28, 1984.
- ARTERO, A. O. **Inteligência Artificial: teórica e prática**. 1 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009. 230 p.
- BARCLAY, H. J.; LAYTON, C. R. Growth and mortality in managed Douglas fir: Relation to a competition index. **Forest Ecology and Management**, v.36, p.187–204, 1990.
- BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. Ecology: From Individuals to Ecosystems, fourth ed. **Blackwell Science**, Malden, USA, p.738, 2006.
- BELAND, M.; LUSSIER, J.M.; BERGERON, Y.; LONGPRE, M.H.; BELAND, M. Structure, spatial distribution and competition in mixed jack pine (*Pinus banksiana*) stands on clay soils of eastern Canada. **Annals of Forest Science** v.60, p.609-617, 2003.
- BELLA, I. E. A new competition model for individual trees. **Forest Science**, v.17, p.364–372, 1971.
- BIGING, G. S.; DOBBERTIN, M. A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees. **Forest Science**, v.38, p.695–720, 1992.
- BIGING, G. S.; DOBBERTIN, M. Evaluation of competition indices in individual tree growth models. **Forest Science**, v.41, n.2, p.360-377, 1995.
- BINOTI, D. H. B. et al. Redução dos custos em inventário de povoamentos equiâneos utilizando redes neurais artificiais. **Agrária**, v.8, p.125- 129, 2012.
- BINOTI, M. L. M. S.; BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G. Aplicação de redes neurais artificiais para estimação da altura de povoamentos equiâneos de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.4, p.639-645, 2013.
- BOIVIN, F.; PAQUETTE, A.; PAPAİK, M. J.; THIFFAULT, N.; MESSIER, C. Do position and species identity of neighbours matter in 8–15-year-old post harvest mesic stands in the boreal mixedwood? **Forest Ecology and Management**, p.1124–1131, 2010.
- BRAGA, A. de P.; CARVALHO, A. C. P. de L. F. de; LUDEMIR, T. B. **Redes Neurais Artificiais: teoria e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 226 p.
- BROWN G. S. Point density in stems per acre. **New Zealand Forest Research Notes**, v.38, p.11, 1965.

BROWN, S.; LUGO, A. E. Tropical secondary forests. **Journal of Tropical Ecology**, v.6, n.1, p.1-32, 1990.

BUCHMAN, R. G.; PEDERSON, S. P.; WALTERS, N. R. A tree survival model with applications to species of great lakes region. **Canadian Journal of Forest Research**, Vancouver, v.13, n.4, p.601-608, 1983.

BULLINARIA, J. A. **Introduction to Neural Computation**. Notas de aula. 2008. Disponível em: m: m: < <http://www.cs.bham.ac.uk/~jxb/inc.html> > . Acesso em: 20 dez. 2015.

CÂMARA, I.G. Brief history of conservation in the Atlantic Forest. In: GALINDOLEAL, C., CÂMARA, I.G. (Eds.), **The Atlantic Forest of South America: Biodiversity Status, Threats, and Outlook**. CABS and Island Press, Washington, p.31-42, 2003.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4<sup>a</sup>.ed. Viçosa-MG: UFV, 2013. 605 p.

CANHAM C. D.; PAPAİK, M. J.; URIARTE, M.; MCWILLIAMS, W. H.; JENKINS, J. C.; TWERY, M. J. Neighborhood analyses of canopy tree competition along environmental gradients in New England forests. **Ecological Applications**, v.16, n.2, p.540-554, 2006.

CARVALHO, J. O. P. de. **Dinâmica de florestas naturais e sua implicação para o manejo florestal**. In: curso de manejo florestal sustentável. 1997, Curitiba. Tópicos em manejo florestal sustentável. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997. p. 43-55.

CASTRO, R. V. O. **Modelagem do crescimento em nível de árvores individuais utilizando redes neurais e autômatos celulares**. 2011. 80p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

CALLAWAY, R.M. **Facilitation and the Organization of Plant Communities**, Em: *The Princeton Guide to Ecology* (Levin S.A., ed.). Princeton University Press, New Jersey. p.282-288, 2009.

CHASSOT, T.; FLEIG, F. D.; FINGER, C. A. G.; LONGHI, S. J. Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de Araucária angustifolia (Bertol.) Kuntze em Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v.21, n.2, p.303-3130, 2011.

CONNELL, J.H.; R.O. SLATYER. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. **The American Naturalist**, v.111, p.1119-1144, 1977.

CONTRERAS, M. A.; AFFLECK, D.; CHUNG, W. Evaluating tree competition indices as predictors of basal área incremente in western Montana forests. **Forest Ecology and Management**, v.262, p.1939-1949, 2011.

CORRAL RIVAS, J. J.; ÁLVAREZ GONZÁLEZ, J. G.; AGUIRRE, O.; HERNÁNDEZ, F. J. The effect of competition on individual tree basal area growth in

mature stands of *Pinus cooperi* Blanco in Durango (Mexico). **Europe Journal Forest Research**, v.124, p.133–142, 2005.

CRECENTE-CAMPO, F.; MARSHALL, P.; SOALLEIRO, R. R. Modeling noncastastrophic individual tree mortality for *Pinus radiata* plantations in northwestern Spain. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v.257, n.4, p.1542-1550, 2009.

CUNHA, T. A.; FINGER, C. A. G. Competição assimétrica e o incremento diamétrico de árvores individuais de *Cedrela odorata* L. na Amazônia ocidental. **Acta Amazônica**, v.43, n.1, p.9 – 18, 2013.

CUNHA, T.A. da. **Modelagem do incremento de árvores individuais de *Cedrela odorata* L. na Floresta Amazônica**. 2009. 88p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-PR. 2009.

D'AMATO, A. W.; PUETTMANN, K. The relative dominance hypothesis explains interaction dynamics in mixed species *Alnus rubra*/*Pseudotsuga menziesii* stands. **Journal of Ecology**, v.92, p.450–463, 2004.

DANIEL, O.; OHASHI, S. T.; SANTOS, R. A. Produção de mudas de *Goupia glabra* (Cupiúba): efeito de níveis de sombreamento e tamanho de embalagens. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.18, n.1, p.1-13, 1994.

DANIELS, R. F. Simple competition indices and their correlation with annual loblolly pine tree growth. **Forest Science**, v.22, p.454-456, 1976.

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

DAS, A. The effect of size and competition on tree growth rate in old-growth coniferous forests. **Canadian Journal of Forest Research**, v.42, p.1983–1995, 2012.

DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. N.; BETTINGER, P.; HOWARD, T. E. **Forest management: to sustain ecological, economic, and social values**. 4.ed. Illinois: Waveland, p.804, 2005.

DELLA-FLORA, J. B. **Modelos de Crescimento para Árvores Singulares – *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez. e *Ocotea puberula* Ness.** 2001. 60p. Dissertação de Mestrado, UFSM, Santa Maria-PR, 2001.

DIAMANTOPOULOU, M. J. Artificial neural networks as an alternative tool in pine bark volume estimation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.48, n.3, p.235-244, 2005.

DIMOV, L. D.; Chambers, J. L.; Lockhart, B. R. Five-year radial growth of red oaks in mixed bottomland hardwood stands. **Forest Ecology and Management**, v.255, p.2790-2800, 2008.

DURIGAN, G.; SIQUEIRA, M. F; FRANCO, G. A. D. C; CONTIERI, W. A. **A flora arbustivo-arbórea de Médio Paranapanema: base para a restauração dos ecossistemas naturais**. In: VILLAS BOAS, O.; DURIGAN, G., orgs. *Pesquisas em*

conservação e recuperação ambiental no Oeste paulista: resultados da cooperação Brasil/Japão. 2004.

DURIGAN, G.; FRANCO, G. A. D. C.; SAITO, M.; BAITELLO, J. B. Estrutura e diversidade do componente arbóreo da floresta na Estação Ecológica dos Caetetus, Gália, SP. **Revista Brasileira de Botânica** v.23, p.371-383, 2000.

EID, T.; TUHUS, E. Models for individual tree mortality in Norway. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.247, n.1, p.175-184, 2007.

FARGIONE, J.; TILMAN, D. Competition and Coexistence in Terrestrial Plants. In: Sommer U., Worm B. (Eds) Competition and Coexistence, **Ecological Studies**, v. 161, p. 165-206, 2002.

FERREIRA, R. L. C. **Estrutura e dinâmica de uma floresta secundária de transição, Rio Vermelho e Serra Azul de Minas, MG.** 1997. 208p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG, 1997.

FERREIRA, W. N.; ZANDEVALL, R. B.; BEZERRA, A. M. E.; MEDEIROS FILHO, S. Crescimento inicial de *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke (Mimosaceae) e *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan var. cebil (Griseb.) Altshul (Mimosaceae) sob diferentes níveis de sombreamento. **Acta Botânica Brasílica**, v.26, n.2, p.408-414. 2012.

FERNEDA, E. Redes neurais e sua aplicação em sistemas de recuperação de informação. **Ciência da informação**, Brasília, v.35, n.1, p.25-30, 2006.

FOLI, E. G. **Crown dimensions and diameter growth of some tropical mixed forest trees in Ghana**, 1993. 185p. Thesis - University of Aberdeen, 1993.

FOX, J. C.; BI, H.; ADES, P. K. Modelling spatial dependence in an irregular natural forest. **Silva Fennica**, v.42, p.35-48, 2007.

FRECKLETON, R. P.; WATKINSON, A. R. Asymmetric competition between plant species. **Functional Ecology**, v.15, p.615–623, 2001.

GASPAR, R.O. **Classificação de estágios sucessionais, estoque e crescimento em carbono de floresta estacional semidecidual, vale do rio doce, MG.** 2014. 83p. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência florestal da Universidade Federal de viçosa, Viçosa-MG. 2014.

GORGENS, E. **Estimação do volume de árvores utilizando redes neurais artificiais.** 2006. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2006.

GLOVER G. R.; HOOL, J. N. A basal area ratio predictor of loblolly pine plantation mortality. **Forest Science**, v.25, p.275-282, 1979.

HARCOMBE, P. A.; BILL, C. J.; FULTON, M.; GLITZENSTEIN, J. S.; MARKS, P. L.; ELSIK, I. S. Stand dynamics over 18 years in a southern mixed hardwood forest, Texas, USA. **Journal of Ecology**. v.90, p.947-957, 2002.

HARTMANN, H.; BEAUDET, M.; MAZEROLLE, M.J.; MESSIER, C. Sugar maple (*Acer saccharum* Marsh) growth is influenced by close conspecifics and skid trail University Press, Princeton. Harvest. **Forest Ecology and Management**, v.258, p.823–831, 2009.

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

HASENAUER, H.; MONSERUD, R. A. A crown ratio model for Austrain forests. **Forest Ecology and Management**. v.84, p.49-60, 1996.

HAYKIN, S. **Redes neurais: princípios e prática**. Bookman, Porto Alegre. 2001. 900p.

HEGYI, F. A simulation model for managing jack-pine stands. In: Fries, J. (Ed.), Growth Models for Tree and Stand Simulation. **Royal College of Forestry**. Stockholm, p.74–90, 1974.

HUBBELL, S. P. **The Unified Theory of Biodiversity and Biogeography**. Princeton, 2001.

JENNINGS, S. B.; LOPES, J. C. A.; WHITMORE, T. C.; BROWN, N. D. **Dinâmica da regeneração natural de algumas espécies florestais na Floresta Nacional do Tapajós, Estado do Pará, Brasil**. In: SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; YARED, J. A. G. (Eds.). A silvicultura na Amazônia Oriental. Belém: Dfid/ Embrapa. p.253-274, 2001.

KOZLOWSKI, T. T.; KRAMER, P. J.; PALLARDY, S. G. The Physiological Ecology of Woody Plants. **Academic Press, Inc.**, San Diego, CA, 1991.

KUNSTLER, G.; ALBERT, C. H.; COURBAUD, B.; LAVERGNE, S.; THUILLER, W.; VIEILLEDENT, G.; ZIMMERMAN, N. E.; COOMES, D. A. Effects of competition on tree radial growth vary in importance but not in intensity along climatic gradients. **Journal of Ecology**, v.99, p.300–312, 2011.

LAROCQUE, G. R. Examining different concepts for the development of a distance-dependent competition model for red pine diameter growth using long-term stand data differing in initial stand density. **Forest Science**, v.48, p.24-34, 2002.

LEAL, F. A.; MIGUEL, E. P.; MATRICARDI, E. A. T.; PEREIRA, R. S. Redes neurais artificiais na estimativa de volume em um plantio de eucalipto em função de fotografias hemisféricas e número de árvores. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v.33, n.2, p.233-249, 2015.

LEDERMAN, T. Evaluating the performance of semi-distance-independent competition indices in predicting the basal area growth of individual trees. **Journal of Forest Research**, v.40, p.796-805, 2010.

LEDERMANN, T.; ECKMÜLLNER, O. A method to attain uniform resolution of the competition variable Basal-Area-in-Larger Trees (BAL) during forest growth projections of small plots. **Ecological Modelling**, v.171, p.195-206, 2004.

- LEE, Y. Predicting mortality for even-aged stands of lodgepole pine. **Forestry Chronicle**, Saint Annede- Bellevue, v.47, n.1, p.29-32, 1971.
- LEITE, H. G. et al. Estimation of inside-bark diameter and heartwood diameter for *Tectona grandis* Linn. trees using artificial neural networks. **European Journal of Forest Research**, v.130, n.2, p.263-269, 2011.
- LEITE, P. F. **As diferentes unidades fitoecológicas da Região Sul do Brasil. Proposta de classificação.** 1994. 160p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.
- LI, Q.; LIANG, Y.; DU, X. J.; MA, K. P. Compensatory effects between *Pinus massoniana* and broadleaved tree species. **Journal Plant Ecology**, v.3, p.183–189, 2010.
- LONGHI, S., NIJKAMP, P. AND POOT, J. A Meta-Analytic Assessment of the Effect of Immigration on Wages. **Journal of Economic Surveys**, v.19, n.3, p.451-477. 2005.
- LORIMER, C. G. Tests of age-independent competition indices for individual trees in natural hardwood stands. **Forest Ecology and Management**, v.6, p.343–360, 1983.
- LUGO, A. E.; MEDINA, E.; TREJO-TORRES, J. C.; HELMER, E. **Botanical and ecological basis for the resilience of Antillean dry forests.** p. 359-382. In: Neotropical Savannas 167 and Seasonally Dry Forests: diversity, biogeography, and conservation/R. Toby Pennington and James A. Ratter (eds.). CRC Press. 2006.
- LÜTTGE, U. Physiological ecology of tropical plants. Germany, **Springer-Verlag Berlin Heidelberg.** 1997.
- MAESTRI, R.; SANQUETTA, C. R.; SCOLFORO, J.R.; MACHADO, S.A.; CORTE5, A.P.D. modelagem do crescimento florestal considerando variáveis do ambiente: revisão. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.14, n.3, p.103-110, 2013.
- MARTIN, G. L.; EK, A. R. A comparison of competition measures and growth models for predicting plantation red pine diameter and height growth. **Forest Science**, v.30, n.3, p.731-743, 1984.
- MARTINS, F. B.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L.; CASTRO, R. V. O. Índices de competição em árvores individuais de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1089-1098, 2011.
- MCDONALD, E. P.; KRUGER, E. L.; RIEMENSCHNEIDER, D. E.; ISEBRANDS, J. G. Competitive status influences tree-growth responses to elevated CO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> in aggrading aspen stands. **Functional Ecology**, v.16, p.792–801, 2002.
- MEIRA NETO, J. A. A.; SILVA, A. E. **Caracterização dos fragmentos florestais das áreas de influência e diretamente afetada pela UHE de Pilar, Vale do Piranga, Zona da Mata de Minas Gerais.** Viçosa, MG: FUNARBE, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 57 p.

MONSERUD, R. A.; STERBA, H. A basal area increment model for individual trees growing in even-and-uneven-aged forest stands in Austria. **Forest Ecology and management**, v.80, p.57-80, 1996.

MONSERUD, R. A.; STERBA, H. Modeling individual tree mortality for Austrian forest species. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v. 113, n. 2, p.109-123, 1999.

NOBLE, I.R.; SLATYER, R.O. The use of vital attributes to predict successional changes in plant communities subject to recurrent disturbances. **Vegetation**, v.43, p.5-21. 1980.

OPIE, J. E. Predictability of individual tree growth using various definitions of competing basal area. **Forest Science**, v. 14, p.314–323, 1968.

ORELLANA, E. **Sucessão florestal, regimes de manejo e competição avaliados por modelos de árvore individual em um fragmento de Floresta de Araucária**. 2014. 154p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Curitiba-PR, 2014.

PAPAIK, M. J.; CANHAM, C. D. Multi-model analysis of tree competition along environmental gradients in southern New England forests. **Ecological Applications**, v. 16, n. 5, p.1880-1892, 2006.

PELTONIEMI, M.; MÄKIPÄÄ, R. Quantifying distance-independent tree competition for predicting Norway spruce mortality in unmanaged forests. **Forest Ecology and Management**, v.261, p.30–42, 2011.

PHIPPS, R. L. Comments on interpretation of climatic information from tree rings, eastern North America. **Tree-Ring Bulletin**, v.42, p.11–22, 1982.

PINTO, S. I. C.; MARTINS, S. V.; BARRROS, N. F. de; DIAS, H. C.; KUNZ, S. H. Influence of environmental variables on the shrub and tree species distribution in two Semideciduous Forest sites in Viçosa, Minas Gerais, Brazil. **Revista de Biologia Tropical**, v. 56, n. 3, p.1557 - 1569, 2008.

POPMA, J.; BONGERS, F. Acclimation of seedlings of three mexican tropical rain forest tree species to a change in light availability. **Journal of Tropical Ecology**, v.7, p.85-97, 1991.

POTVIN, C.; DUTILLEUL, P. Neighborhood effects and size-asymmetric competition in a tree plantation varying in diversity. **Ecology**, v.90, p.321–327, 2009.

PRETZSCH, H.; SCHÜTZE, G. Transgressive overyielding in mixed compared with pure stands of Norway spruce and European beech in Central Europe: evidence on stand level and explanation on individual tree level. **Europe Journal Forest. Research**, v. 128, p.183–204, 2009.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. Mensura florestal. San José – Costa Rica: **GTZ-IICA**, p.586,1997.

- PUKKALA, T.; KOLSTRÖM, T. Competition indices and the prediction of radial growth in Scots pine. **Silva Fennica**, v.21, n.1, p.55-67, 1987.
- QUICKE, H. E.; MEHLDAHL, R. S.; KUSH, J. S. Basal area growth of individual trees: a model derived from a regional longleaf pine growth study. **Forest Science**, v.40, n.3, p.528-542, 1994.
- RICHARDS, M.; MCDONALD, A. J. S.; AITKENHEAD, M. J. Optimisation of competition indices using simulated annealing and artificial neural networks. **Ecological Modelling**, v.214, p.375–384, 2008.
- RICHARDSON, A. D.; BERLYN, G. P.; ASHTON, P. M. S.; THADANI, R.; CAMERON, I. R. Foliar plasticity of hybrid spruce in relation to crown position and stand age. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.78, n.3, p. 305-317, 2000.
- RODRIGUES, V. H. P.; LOPES, S. F.; ARAÚJO, G.M.; SCHIAVINI, I. Composição, estrutura e aspectos ecológicos da floresta ciliar do rio Araguari no Triângulo Mineiro. **Hoehnea**, p.87-105, 2010.
- ROITMAN, I. **Modelagem espacial e temporal na mata de galeria do Gama – DF**. 2011. 169p. Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia da Universidade de Brasília (UnB). Brasília-DF, 2011.
- ROSSI, L. M. B. **Processo de difusão para simulação da dinâmica de floresta natural**. 2007. 148 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2007.
- SANQUETTA, C. R. Avaliação biométrica da dinâmica da regeneração natural em áreas degradadas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2000, Blumenau, SC. **Anais....** Sl.: s.n., 2000.
- SANTOS, K.; KINOSHITA, L. S. Flora arbustivo-arbórea do fragmento de floresta estacional semidecidual do Ribeirão Cachoeira, município de Campinas, SP. **Acta Botanica Brasilica**, v. 17, p.325-341, 2003.
- SAUNDERS, D. A.; HOBBS, R. J.; MARGULES, C. R. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. **Conservation Biology**, New York, v.5, n.1, p.18 - 32, 1991.
- SCHNEIDER, M. K.; LAW, R.; ILLIAN, J. B. Quantification of neighborhood-dependent plant growth by Bayesian hierarchical modelling. **Journal of Ecology**, v. 94, p.310–321, 2006.
- SCHWINNING, S.; WEINER, J. Mechanisms determining the degree of size asymmetry in competition among plants. **Oecologia**, v. 113, p. 447–455, 1998.
- SILVA, J. F.; FARINAS, M. R.; FELFILI, J. M.; KLINK, C. A. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the Cerrado region of Brazil. **Journal of Biogeography**, v. 33, p.536-548, 2006.



SILVA, M. L. M. et al. Ajuste do modelo de Schumacher e Hall e aplicação de redes neurais artificiais para estimar volume de árvores de eucalipto. **Revista Árvore**, v.33, n.6, p.1133-1139, 2009.

SILVA, J. N. M.; LOPES, J. do C. A.; BARROS, P. C. de. **Aspectos técnicos relacionados aos projetos de manejo florestal na região de Paragominas**. In: diagnóstico dos projetos de manejo de reposição florestal no estado do Pará – FASE PARAGOMINAS, Paragominas, 1996.

SOS Mata Atlântica. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica no período de 2013-2014**- Relatório Técnico. 2015.

SOUZA, J. P.; ARAÚJO, G. M.; SCHIAVINI, I.; DUARTE, P. C. Comparison between canopy trees and arboreal lower strata of urban semideciduous seasonal forest in Araguari - MG. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.49, p.775-783, 2006.

STADT, K.J., HUSTON, C., COATES, K.D., FENG, Z., DALE, M.R.T., LIEFFERS, V.J. Evaluation of competition and light estimation indices for predicting diameter growth in a mature boreal mixed forests. **Ann. Forest Science** v.64, p.477-490, 2007.

STAGE, A. R.; LEDERMANN, T. Effects of competitor spacing in a new class of individual-tree indices of competition: semi-distance-independent indices computed for Bitterlich versus fixed-area plots. **Canadian Journal of Forest Research**, v.38, n.4, p.890-898, 2008.

STOLL, P.; NEWBERY, D. M. Evidence of species-specific neighborhood effects in the Dipterocarpaceae of a Bornean rain forest. **Ecology**, v.86, p.3048–3062, 2005.

STOYAN, D.; PENTTINEN, A. Recent applications of point process methods in Forestry Statistics. **Statistical Science**, v.15, n.1, p.61-78, 2000.

SWAINE, M. D.; WHITMORE, T. C. On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. **Vegetation**, v.75, p.81-86, 1988.

SZWAGRZYK, J.; GRATZER G.; STEPNIEWSKA, H.; JANUSZ SZEWCZYK S.; VESELINOVIC, B. High Reproductive Effort and Low Recruitment Rates of European Beech: Is There a Limit for the Superior Competitor?. **Polish Journal of Ecology**, v.63, n.2, p.198-212. 2015.

THOMPSON, W. A.; HUANG, L. K.; KRIEDEMANN, P. E. Photosynthetic response to light and nutrients in sun-tolerant and shade tolerant rainforest trees. II. Leaf gas exchange and component processes of photosynthesis. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.19, p.19-42, 1992.

THORPE, H. C.; ASTRUP, R.; TROWBRIDGE, A.; COATES, K. D. Competition and tree crowns: a neighborhood analysis of three boreal tree species. **Forest Ecology and Management**, v.259, p.1586–1596, 2010.

TOMÉ M. Distance dependent competition measures to model growth of individual trees. In: Burkhardt H. E. (ed), *Research in Forest Mensuration, Growth and Yield*. VPI e

- SU, Pub.nº FWS-2-90. **School of Forest and Wildlife Resources**. Blacksburg, p.219-231, 1990.
- TOMÉ, M.; BURKHART, H. E. Distance-dependent competition measures for predicting growth of individual tree. **Forest Science**, v.35, n.3, p.816-831, 1989.
- TONINI, H. **Índices de competição e o seu uso na modelagem de crescimento das árvores**. Roraima: Embrapa Roraima, p.30, 2007.
- UHL, C. Factors controlling succession following slash and burn agriculture in Amazonia. **Journal of Ecology**, v.75, n.2, p.377-407, 1987.
- URIARTE, M.; CONDIT, R.; CANHAM, C. D.; HUBBELL, S. P. A spatially explicit model of sapling growth in a tropical forest: does the identity of neighbours matter? **Journal of Ecology**, v.92, p.348–360, 2004.
- VACCARO, S. **Crescimento de uma Floresta Estacional Decidual, em três estágios sucessionais, no município de Santa Tereza, RS, Brasil**. 2002. 157P. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 2002.
- VALLADARES, F.; WRIGHT, S. J.; LASSO, E.; KITAJIMA, K.; PEARCY, R. W. Plastic phenotypic response to light of 16 congenetic shrubs from a Panamanian rainforest. **Ecology**, v.81, n.1, p.1925-1936, 2000.
- VANCLAY J. K. Spatially-explicit competition indices and the analysis of mixed-species plantings with the Simile modelling environment. **Forest Ecology and Management**, v.23, p.295–302, 2006.
- VANCLAY, J. K. **Modelling Forest Growth and Yield: Applications to Mixed Tropical Forests**. CAB International, Wallingford, U.K. p.312, 1994.
- VELOSO, P. H.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. IBGE, Rio de Janeiro, 1991.
- VETTENRANTA, J. Distance-dependent Models for Predicting the Development of Mixed Coniferous Forests in Finland. **Silva Fennica**, v.33, p.51-72, 1999.
- WEBER, P.; BUGMANN, H.; FONTI, P.; RIGLING, A. Using a retrospective dynamic competition index to reconstruct forest succession. **Forest Ecology and Management**, v.254, p.96–106, 2008.
- WEISKITTEL, A. R.; HANN, D. W.; KERSHAW JR. J. A.; VANCLAY, J. K. **Forest Growth and Yield Modeling**, Wiley-Blackwell, Chichester, 2011.
- WHITMORE, T. C. Canopy gaps and two major groups of forest trees. **Ecology**, v.70, n.3, p.536-538, 1989.
- WYKOFF, W. R. A basal area increment model for individual conifers in the northern rocky mountains. **Forest Science**, v.36, n.4, p.1077-1104, 1990.

ZHAO, D.; BORDERS, B.; WILSON, M. Individual-tree diameter growth and mortality models for bottomland mixed-species hardwood stands in the lower Mississippi alluvial valley. **Forest Ecology and Management**, v.199, p.307-322, 2004.

ZHAO, D.; BORDERS, B.; WILSON, M.; RATHBUN, S. L. Modeling neighbourhood effects on the growth and survival of individual trees in a natural temperate species-rich forest. **Ecological Modelling**, v.196, p. 90–102, 2006.

## **CAPÍTULO 2 - PROJEÇÃO DO CRESCIMENTO DENDROMÉTRICO EM FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL SUBMONTANA**

### **Resumo**

O crescimento florestal é decorrente das alterações ocorridas nas dimensões ao longo do tronco das árvores, em determinado intervalo de tempo. Dentre algumas técnicas, uma metodologia amplamente empregada por parte dos pesquisadores das ciências florestais é a aplicação de modelos de crescimento e produção florestal por meio de modelos de regressão. Para tanto, as redes neurais artificiais (RNA) também podem realizar a projeção do crescimento de indivíduos arbóreos (em nível de árvore individual, distribuição diamétrica ou povoamento total). Todavia, as RNA's possuem a vantagem da possibilidade de agregação de variáveis categóricas (qualitativas) para as estimativas. Portanto, objetivou-se, com o presente estudo, comparar as metodologias de regressão e RNA na projeção de diâmetro e altura, implementando-se variáveis competitivas em fragmento de floresta estacional semidecidual submontana, MG. Para cada fuste, em cada medição, foram calculados índices de competição independentes e semidependentes da distância, selecionados em estudos preliminares. Foram ajustados quatro modelos de regressão, dois para estimar o diâmetro (DAP) e dois para estimar a altura (H), sendo que para o processo de validação, foi selecionado, a partir das estatísticas de precisão e gráficos de resíduos, o melhor modelo por variável. No processo de aprendizado das redes, selecionou-se as quatro melhores RNA, onde, cada rede estimou, simultaneamente as variáveis DAP e H. Dentre estas RNA, foi definida a melhor RNA visando comparar com os resultados dos modelos validados. A partir das estatísticas de precisão e análise gráfica, concluiu-se que projetar o crescimento dendrométrico por Redes Neurais Artificiais foi mais eficiente que por modelos tradicionais.

### **1. INTRODUÇÃO**

O crescimento florestal é decorrente das alterações ocorridas nas dimensões ao longo do tronco das árvores, em determinado intervalo de tempo. De acordo com Stepka (2012), estas mudanças podem ser perceptíveis em determinadas características do componente florestal, sejam elas no diâmetro, altura, volume, biomassa e na área basal, e podem ser quantificadas por meio da utilização de técnicas específicas.

Dentre essas técnicas, uma metodologia amplamente empregada por parte dos Pesquisadores das ciências florestais é a aplicação de modelos. Segundo Campos e Leite (2013), um modelo de crescimento e produção pode ser representado por um ou mais modelos estatísticos; uma ou mais equações; uma ou mais tabelas ou gráficos; ou, ainda, um conjunto de modelos estatísticos, equações, tabelas e gráficos. Essa técnica se torna

essencial na tomada de decisões no manejo florestal, onde se buscam as melhores alternativas na condução e intervenção em povoamentos florestais, seja em florestas plantadas ou naturais.

Não obstante aos modelos tradicionais de crescimento e produção, as redes neurais artificiais (RNA) também podem realizar a projeção do crescimento de indivíduos arbóreos, a nível de árvore individual, distribuição diamétrica ou povoamento total. Todavia, segundo Cordeiro (2015), alguns processos de tomada de decisão contêm componentes qualitativos, no presente foi o grupo ecológico, que dificilmente poderiam ser integrados nesses modelos, enquanto nas RNA, as variáveis categóricas podem ser agregadas às estimativas.

Binoti (2013) conceitua RNA como processadores paralelamente distribuídos compostos por unidades de processamento simples (neurônios artificiais), que armazenam conhecimento experimental (aprendizagem), tornando-o disponível para uso (generalização). Apesar da sua ampla aplicação em outras áreas de conhecimento, Gorgens et al. (2014) relataram que os trabalhos com redes do tipo preditiva ainda vêm sendo pouco explorados, especialmente na área de Mensuração e Manejo Florestal que demanda soluções deste tipo.

Tendo por base a aplicação de ambas as técnicas de projeção do crescimento arbóreo, a deficiência de estudos é mais acentuada quando se trata de florestas naturais. Essa lacuna se deve principalmente pela complexidade na sua composição, desde ao elevado número de espécies com diferentes características silviculturais, ecológicas e tecnológicas até as características edafoclimáticas. Schneider et al. (2006) atribui a escassez de estudos, ao fato de haver poucas informações da autoecologia, do crescimento e do processo silvicultural na constituição de florestas naturais nos diferentes períodos de formação.

Com o propósito de fomentar o desenvolvimento de pesquisas em florestas naturais, são necessários avanços nas técnicas de projeção do crescimento das árvores, sob influência da competição entre os indivíduos arbóreos nas alterações das variáveis dendrométricas. Pressupõe-se, portanto, que as estimativas desses processos tornam-se imprescindíveis para a adoção de tratamentos e medidas silviculturais mais adequadas ao estudo de ecologia florestal ou manejo da floresta sob regime de rendimento sustentado.

Objetivou-se analisar a viabilidade na aplicação das metodologias de regressão e RNA na projeção de diâmetro e altura, implementando-se variáveis competitivas em fragmento de floresta estacional semidecidual submontana, MG.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O estudo foi realizado no município de Caratinga – MG, no Projeto Lagoa do Piau, cuja área é de 256,94 ha. Consiste em fragmento de Mata Atlântica, caracterizada como Floresta Estacional Semidecidual. O clima é classificado como AW pela classificação de Köppen, com temperatura variando entre 19,1° C e 28,3°C, e precipitação anual média equivalente a 1.373 mm. No local, foram instaladas 22 parcelas permanentes com dimensões de 10 x 50 m, equivalente a 500 m². Em cada parcela, foram identificados e mensurados altura total (Ht) e diâmetro a 1,3 m de altura (DAP) dos indivíduos com DAP maior ou igual a 5 cm, nos anos de 2002, 2007 e 2012 (Tabela 7).

A identificação de todo o material botânico coletado foi feita por meio de comparações com o material do Herbário do Departamento de Biologia Vegetal da Universidade Federal de Viçosa (VIC-UFV) e consultas a especialistas, sendo adotado o APG III(2009) como sistema de classificação.

As espécies presentes no fragmento florestal foram classificadas, segundo Gaspar (2014), nos seguintes grupos ecológicos: pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias e clímax. Posterior a esta classificação, os grupos sucessionais foram organizados em dois grupos, atendendo a critérios da exigência por luz, em heliófilas e umbrófilas.

Tabela 7 - Descrição dos dados levantados em fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, localizado em Caratinga - Minas Gerais, Brasil.

	<b>Ano de medição</b>		
	<b>2002</b>	<b>2007</b>	<b>2012</b>
<i>DAP</i> mínimo (cm)	4,8	4,8	5,0
<i>DAP</i> médio (cm)	9,5	9,8	10,3
<i>DAP</i> máximo (cm)	65,6	69,4	75,1
<i>q</i> (cm)	11,0	11,3	11,8
<i>Ht</i> mínima (m)	1,7	1,3	2,5

Continua...

Tabela 7, Cont.

<i>Ht</i> média (m)	8,8	9,0	10,3
<i>Ht</i> máxima (m)	30,0	30,0	30,0
Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	19,9	21,3	21,9
Volume (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	155,0	167,1	197,9
Famílias botânicas	51	51	46
Gêneros botânicos	100	101	95
Espécies identificadas	129	120	123
Espécies não identificadas	4	5	8
Número de fustes (ha)	2564	2564	2390
Número de árvores (árvores ha <sup>-1</sup> )	1914	2267	1815
Índice de Shannon-Weaver (H')	3,864	3,864	3,857
Número de indivíduos ingressos (ha)*	-	248	104
Número de indivíduos mortos (ha)*	-	232	219

\* Número de indivíduos ingressos / mortos desde a medição imediatamente anterior

Sendo: *DAP* = diâmetro com casca a 1,3 m; *q* = diâmetro quadrático; e *Ht* = altura total; Número de fustes (ha) = número de troncos, sendo contabilizada cada bifurcação abaixo do *DAP*.

Para cada fuste, em cada medição, foram calculados índices de competição independentes e semidependentes da distância, ambos descritos como IC, selecionados em estudos preliminares, para a estimativa das variáveis dendrométricas (Tabela 8).

Tabela 8 - Índices de competição independentes e semidependentes da distância utilizados na modelagem do crescimento em diâmetro e em altura para o fragmento de floresta estacional semidecidual, MG.

Grupo	Autor(es)	e	Índice de competição	Características do índice
			selecionado para modelagem	empregado
Todos as espécies	GLOVER HOOL (1979)	e	$IC1 = \frac{dap_i^2 \cdot Ht_i}{d_n^2 \cdot \overline{Ht}_n}$	Índice semidependente da distância, com raio de 4 metros de influência.
Pioneiras	GLOVER HOOL (1979)	e	$IC2 = \frac{Ht_i}{\overline{Ht}_n}$	Índice semidependente da distância, com raio de 3 metros de influência.
Secundárias iniciais	GLOVER HOOL (1979)	e	$IC3 = \frac{Ht_i}{\overline{Ht}_n}$	Índice semidependente da distância, com raio de 4 metros de influência.
Secundárias tardias	STAGE (1973)		$IC4 = BAL_{ni}$	Índice semidependente da distância, com raio de 5 metros de influência.

Continua...

Tabela 8, Cont.

Clímax	STAGE (1973)	$IC5 = \frac{AS_i^2}{ASq^2}$	Índice independente da distância
Heliófilas	STAGE (1973)	$IC6 = BAL_i$	Índice independente da distância
Umbrófilas	STAGE (1973)	$IC7 = BAL_{ni}$	Índice semidependente da distância, com raio de 5 metros de influência.

em que:  $dapi$  = diâmetro com casca do fuste da árvore-objeto, medido a 1,30 m (cm);  $d$  = média aritmética dos diâmetros dos fustes da unidade amostral (cm);  $Hti$  = altura total do fuste da árvore-objeto (m);  $Ht$  = altura média dos fustes da unidade amostral (m);  $ASi$  = área seccional do fuste da árvore-objeto, medido a 1,30 m de altura (m<sup>2</sup>),  $ASq$  = área seccional correspondente ao diâmetro médio ( $q$ ) dos fustes das árvores vizinhas (m<sup>2</sup>);  $BALi$  = somatório das áreas seccionais dos fustes das árvores vizinhas maiores que o fuste da árvore-objeto;  $dn$  = média aritmética dos diâmetros dos fustes de  $n$  árvores próximas da árvore-objeto (cm), limitadas a um raio de competição de 3, 4, 5 m;  $Htn$  = altura média dos fustes de  $n$  árvores próximas da árvore-objeto (m), limitadas a um raio de competição de 3, 4, 5 m;  $ASqn$  = área seccional (m<sup>2</sup>) correspondente ao diâmetro médio ( $q$ ) dos fustes das árvores vizinhas, limitadas a um raio de competição de 3, 4, 5 m;  $BALn$  = Somatório de todos os indivíduos maiores que a árvore-objeto, limitadas a um raio de competição de 3, 4, 5 m.

Com posse dos incrementos periódicos estimados em diâmetro e altura, foi somado ao diâmetro observado, assim como na altura observada, ambos na primeira medição (DAP1 e H1), obtendo dessa forma o diâmetro e altura estimados, isso para os modelos 2 e 4. A modelagem foi empregada de acordo a seguinte classificação: para todas as espécies, por grupo sucessional e de acordo a exigência por luz. Foram aplicados quatro modelos de projeção (Tabela 9).

Foi retirado 30% da base de dados, em ambas as técnicas de projeção, para todas as espécies e grupos, a fim de ser utilizado no processo de validação (generalização) dos modelos e RNA que apresentaram os melhores ajustes.

Tabela 9 - Modelos empregados na estimação das variáveis dendrométricas.

Número	Modelos
(1)	$DAP_2 = \beta_0 + \beta_1 DAP_1 + \beta_2 H_1 + \beta_3 IC + \varepsilon$
(2)	$IPA_d = \beta_0 + \beta_1 DAP_1 + \beta_2 H_1 + \beta_3 IC + \varepsilon$
(3)	$H_2 = \exp(\beta_0 + \beta_1(1/DAP_1) + \beta_2 H_1 + \beta_3 IC) + \varepsilon$
(4)	$IPA_h = \beta_0 + \beta_1(1/DAP_1) + \beta_2 IC + \varepsilon$



Em que:  $DAP_1$  = Diâmetro a altura do peito observado;  $DAP_2$  = Diâmetro a altura do peito estimado;  $HT_1$  = Altura total observada;  $H_2$  = Altura total estimada;  $IC$  = Índice de competição;  $IPA_d$  = Incremento periódico anual em diâmetro;  $IPA_h$  = Incremento periódico anual em altura;  $\beta$  = Coeficiente da regressão;  $\varepsilon$  = erro associado.

## 2.2. APLICAÇÃO DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS (RNA)

O emprego das RNA foi viabilizado pelo *software* Statistica 8.0 (STATSOFT, INC, 2008). No processo de construção e treinamento, foram empregados dois tipos de redes, com diferentes arquiteturas: MLP (*Multilayer Perceptron*) e RBF (*Radial Basis Function*), além do processo de treinamento das redes ter sido auxiliado pela ferramenta *Intelligent Problem Solver* (IPS).

Para as redes MLP, foram avaliadas combinações de quatro diferentes funções de ativação nas camadas intermediária e de saída (identidade, logística, tangencial e exponencial). Enquanto que nas redes RBF, os neurônios da camada de saída foram sempre lineares (função identidade) e os neurônios da camada intermediária, função de base radial (gaussiana) como função de ativação.

As redes foram treinadas para projetar o diâmetro (DAP), a altura total (H) como variáveis de saída, simultaneamente (Tabela 10). De acordo com Binoti (2010), é interessante a aplicação dessa técnica pelo fato de desejar-se-á a aproximação de uma função desconhecida  $f(x)$ , que descreva o mapeamento dos pares de entrada( $x$ )-saída ( $y$ ) de um conjunto de  $n$  padrões de treinamento.

Tabela 10 - Variáveis utilizadas no treinamento das RNA para projeção do diâmetro (DAP), altura total (HT) de árvores individuais em uma Floresta Estacional Semidecidual Submontana, Caratinga - Minas Gerais.

Número de redes treinadas	Tipo	Saídas	Entradas (numéricas)	Entradas (categóricas)
1000	MLP e RBF	DAP2, H2	DAP1, H1, IC	GE

Em que: MLP= *Multilayer Perceptron*; RBF= redes *Radial Basis Function*; DAP1 e DAP2 = diâmetros a 1,3 m (cm) atual e futuro, respectivamente; H1 e H2 = alturas total (m) atual e futura, respectivamente; IC = índices de competição independentes e semidependentes da distância; GE= grupo ecológico.

Posteriormente ao processo de treinamento, foram selecionadas as quatro melhores redes. Para o processo de validação (generalização), foi selecionada a melhor rede a partir das estatísticas de qualidade e gráficos de dispersão. Ressalta-se que para a validação, foram utilizados os indivíduos que não fizeram parte do treinamento.

Para avaliar o desempenho dos modelos tradicionais e das RNA da projeção em diâmetro e altura foram calculadas as estatísticas: Coeficiente de variação (CV%); BIAS; coeficiente de correlação ( $R^2$ ) e erro padrão das estimativas em percentagem (Syx %). Além das estatísticas de qualidade, também foi levada em consideração a análise gráfica entre os valores observados e estimados, bem como os gráficos de resíduos entre os valores observados e o erro.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Segundo Roitman (2011), os índices de competição arbórea podem ser utilizados na otimização de modelos de crescimento, voltados tanto para produção e manejo florestal como para projeções da assimilação de carbono ou projetos de compensação e recuperação ambiental. Essa mesma autora ainda relata que a implementação dos índices nos modelos pode auxiliar na identificação de espécies mais sensíveis ou mais indiferentes à vizinhança e na compreensão de mecanismos de competição e coexistência.

Com a agregação do aspecto competitivo, oriundos do emprego dos índices de competição na projeção dendrométrica, os valores apresentados na Tabela 11, onde se encontram os resultados de todos os modelos ajustados, permitem aferir que, para o grupo de todas as espécies, além de todas as formas de classificação, as estatísticas de qualidade dos valores estimados para a variável altura (H2) foram inferiores quando comparadas às estatísticas dos modelos que estimaram a variável DAP2. Ressalta-se que foram agregados aos modelos tradicionais, assim como as RNA, os índices de competição.

Uma das causas que pode ser atribuída ao comportamento das estimativas desta variável é o fato de o processo de coleta de dados em campo ser oneroso e de difícil precisão, conseqüentemente, os valores reais, muitas vezes agregados a esses entraves, podem comprometer os resultados das estimativas. Segundo Lingnau et al. (2009), a não visualização ou falta de nitidez do ápice da copa e da base da árvore, podem gerar erros nas estimações, causando super ou subestimativas, principalmente em florestas nativas.

Ao se fazer um comparativo entre a projeção da variável DAP, do grupo de todas as espécies em relação à classificação por grupos, observa-se que a estatística coeficiente de correlação ( $R^2$ ) apresentou o menor valor dentre todos os modelos. Denota-se, portanto, que a correlação entre os indivíduos observados e estimados torna-

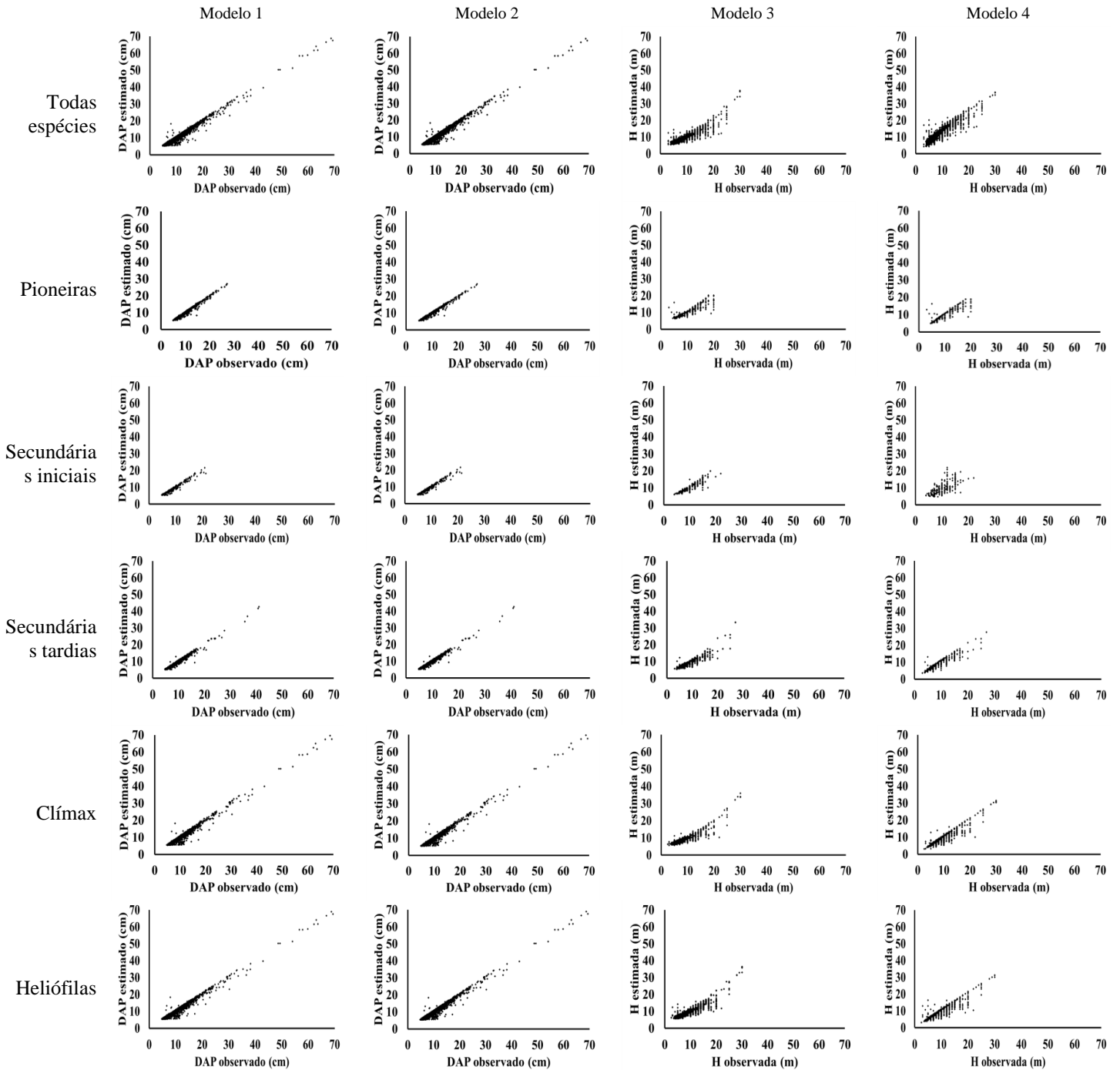
se mais forte quando projeta-se a variável DAP para o grupo de todas as espécies, do fragmento em questão.

Em contrapartida, ao se avaliar a estatística Bias, fica evidenciado que, projetar a variável DAP por grupo de ecológico e de acordo a exigência por luz é mais eficiente do que quando se faz a modelagem do crescimento diamétrico, por meio de modelos tradicionais, para o grupo de todas as espécies. Não obstante ao parâmetro estatístico de precisão Bias, o resultado do erro padrão de estimativa apresentou o menor valor para o grupo de todas as espécies.

Tabela 11 - Estatísticas de qualidade obtidas nos ajustes dos quatro modelos tradicionais.

Grupo	Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	Erro Padrão ( $S_{xy}\%$ )	CV (%)	Bias	R <sup>2</sup>
Todas as espécies	1	0,7870	1,0157	0,0063	-0,0129	0,5418	5,4271	-0,7853	0,9996
	2	0,1574	0,0031	0,0013	-0,0026	1,0366	9,5463	0,0000	0,9854
	3	1,9821	-2,5656	0,0548	0,0068	1,6638	16,9397	-0,0509	0,9013
	4	1,3250	-6,5099	0,0202	-	3,6063	36,7177	-3,0867	0,9180
Pioneiras	1	1,0069	0,9795	-0,0083	-0,0102	0,7483	6,5440	0,0000	0,9838
	2	0,2014	-0,0041	-0,0017	-0,0020	0,9018	8,0825	0,0000	0,9759
	3	1,7436	-1,3567	0,0726	0,0020	1,6285	14,5725	0,0000	0,8833
	4	0,2148	-0,9307	0,0017	-	1,6543	14,8033	-0,0170	0,8779
Secundárias iniciais	1	0,7536	1,0161	-0,0060	0,0774	1,1609	10,5053	0,0000	0,9875
	2	0,1507	0,0032	-0,0012	0,0155	1,2013	11,2570	-0,6973	0,9847
	3	2,0278	-2,2428	0,0537	-0,0056	1,3977	14,7967	0,0000	0,9338
	4	0,3454	-1,4608	-0,0106	-	1,6918	17,9104	-0,0607	0,9016
Secundárias tardias	1	0,0844	1,0003	0,0403	0,3423	0,8214	8,2705	0,0000	0,9842
	2	0,0169	0,0001	0,0081	0,0685	3,1478	30,0500	-2,4679	0,9821
	3	2,1614	-2,7827	0,0724	-0,2471	1,4042	15,1311	0,0000	0,9281
	4	0,7028	-2,6422	-0,2223	-	1,6493	17,7720	-0,0551	0,9007
Clímax	1	0,4550	1,0049	-0,0107	0,4018	0,7454	7,6556	0,0000	0,9782
	2	0,0910	0,0010	-0,0021	0,0804	3,1602	32,4456	-2,9787	0,9827
	3	1,9296	-1,7357	0,0739	-0,0987	0,8328	8,5532	-0,1258	0,9739
	4	0,7796	-2,2531	-0,3143	-	1,5150	14,3916	-0,0166	0,8868
Heliófilas	1	0,8547	1,0234	-0,0143	-0,0084	1,1130	9,9541	0,0000	0,9861
	2	0,1709	0,0047	-0,0029	-0,0017	3,5625	32,3088	-3,3139	0,9845
	3	2,0008	-2,5926	0,0531	0,0067	1,4573	14,8646	0,0000	0,9260
	4	0,2528	-1,2889	0,0043	-	1,6631	16,9637	-0,0526	0,9017
Umbrófilas	1	0,3804	1,0156	0,0488	-0,0153	0,7852	7,9582	0,0000	0,9819
	2	0,0761	0,0031	0,0098	-0,0031	3,1613	30,8669	-2,9447	0,9804
	3	1,8195	-1,9399	0,0690	0,0039	1,4755	15,1541	0,0000	0,9159
	4	0,3162	-1,4768	0,0034	-	1,5816	16,2442	-0,0395	0,9027

Os gráficos dos diâmetros e alturas estimados em função dos valores observados foram elaborados visando identificar possíveis discrepâncias ou tendências nas estimativas das variáveis supracitadas (Figura 4). Independentemente da classificação em grupos, os dados observados e estimados, para a variável DAP, seguiram a mesma tendência em relação ao valor da média.



Umbrófilas

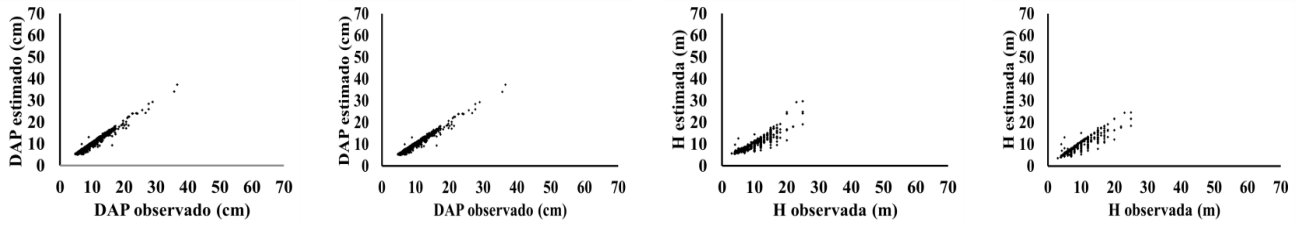
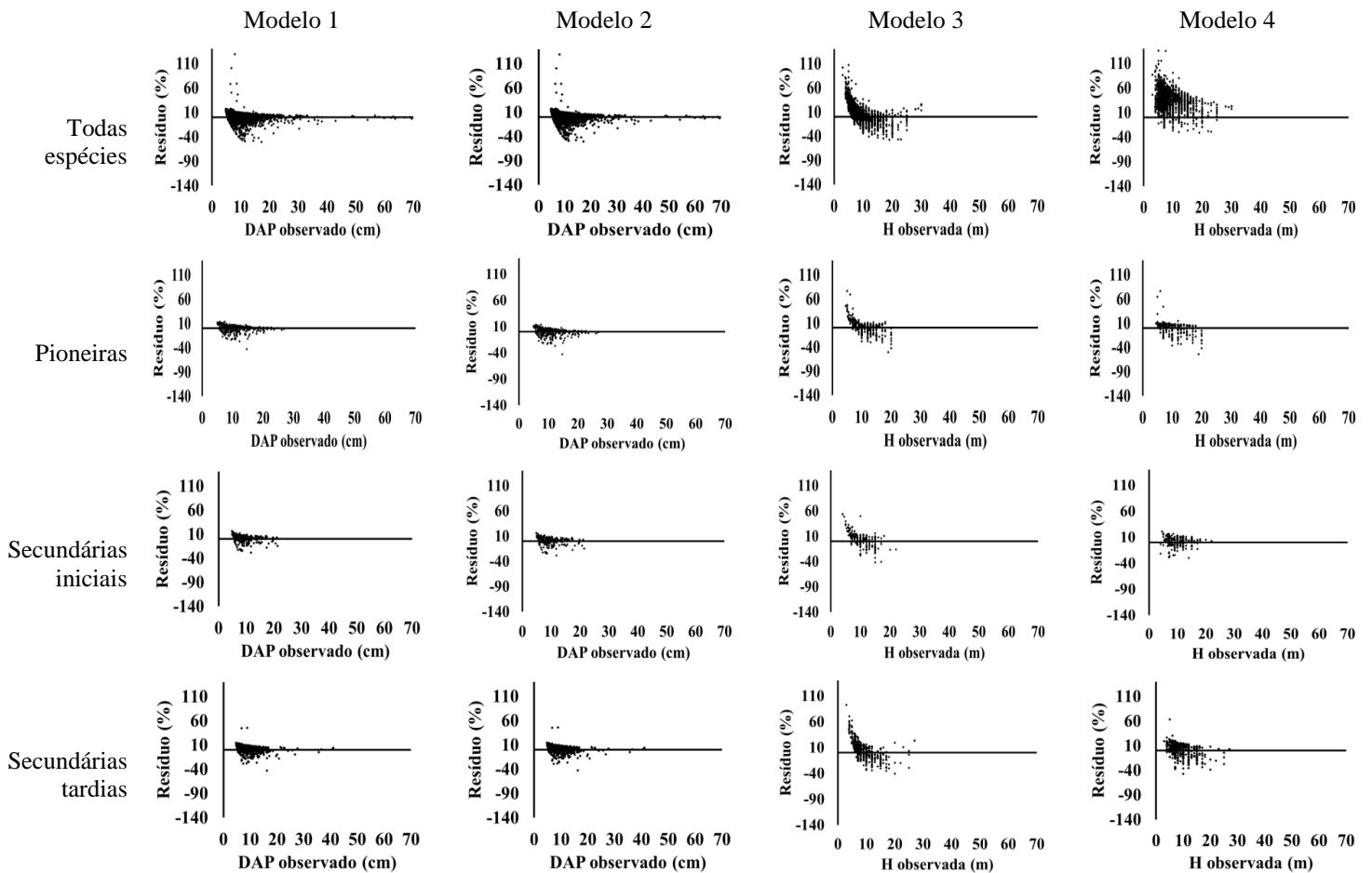


Figura 4 - Gráficos da dispersão entre os valores observados e os valores estimados dos quatro modelos tradicionais empregados nas estimativas de DAP e H.

Na análise dos gráficos de resíduos dos modelos tradicionais, observa-se uma superestimação dos dados nas estimativas da variável altura (Figura 5). Para as estimativas do diâmetro, os grupos sucessionais, pioneiras e clímax, apresentaram uma maior agregação dos valores, quando comparados aos demais grupos. O grupo das umbrófilas também apresentou comportamento semelhante. Observa-se no modelo 4 uma superestimação dos dados, quando a projeção é verificada no grupo de todas as espécies, enquanto que no grupo tolerantes e intolerantes à sombra, os dados se apresentaram com uma subestimação na tendência, isto para a variável H.



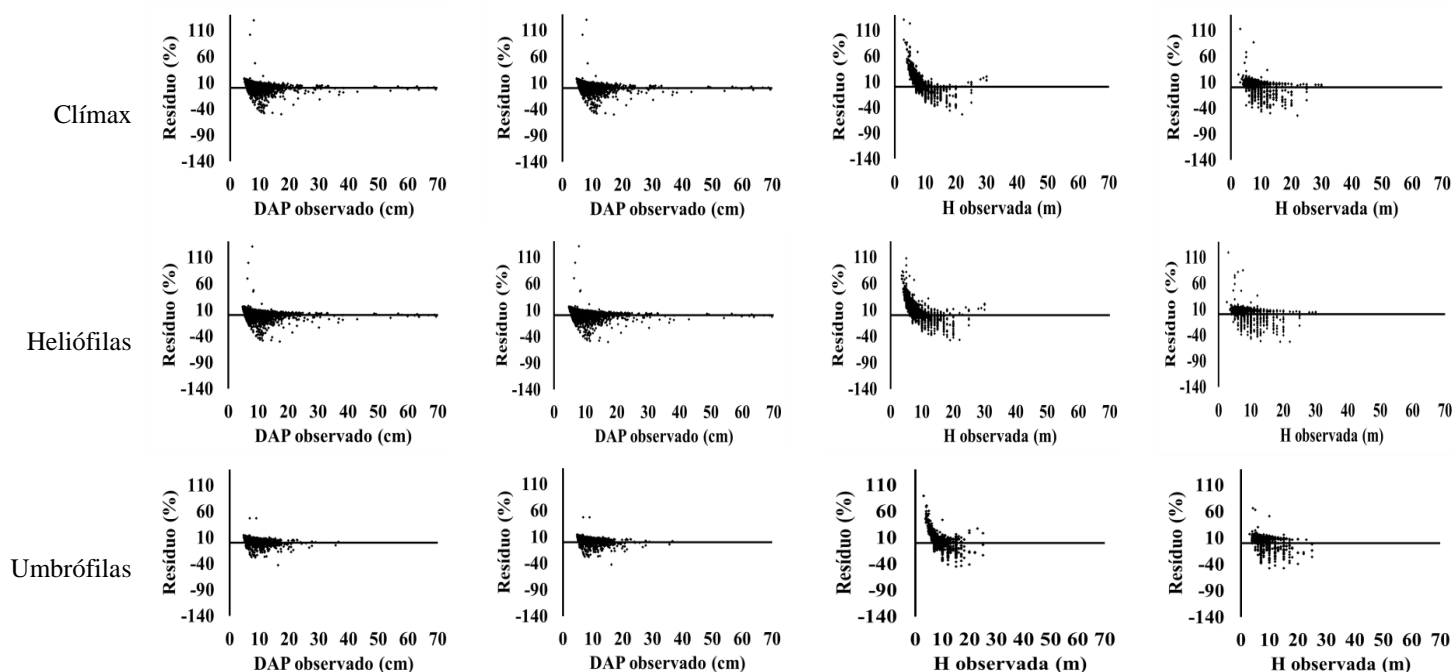


Figura 5 - Gráficos de distribuição dos resíduos dos ajustes dos quatro modelos tradicionais empregados nas estimativas de DAP e H.

Os modelos tradicionais que apresentaram melhores estatísticas e distribuição pelos gráficos de dispersão e de resíduos foram os modelos 1 e 3, em que os resultados demonstraram superioridade, em relação aos outros modelos, na projeção em Diâmetro e Altura, respectivamente (Tabela 12).

Tabela 12 - Estatísticas de qualidade geradas da validação dos modelos 1 e 3.

	Modelo	Erro Padrão	CV %	Bias	Correlação
Todas as espécies	1	0,9654	9,1009	0,0000	0,9721
	3	3,7441	37,8894	-3,1776	0,9073
Pioneiras	1	1,1826	11,2566	-0,0076	0,9556
	3	1,6377	16,6938	-0,0248	0,8813
Secundárias Iniciais	1	0,9789	9,0497	0,0000	0,9860
	3	1,6737	17,4580	-0,0365	0,8888
Secundárias Tardias	1	1,1309	9,6316	0,0000	0,9873
	3	1,7438	16,3783	-0,0203	0,9165
Clímax	1	0,5608	5,7529	0,0000	0,9942
	3	2,7967	28,6907	-0,0888	0,8610
Heliófilas	1	0,2576	2,4154	0,0000	0,9834
	3	0,4873	4,9468	-0,0254	0,9001
Umbrófilas	1	1,0020	9,0106	0,0000	0,9893
	3	1,5583	15,2146	-0,0157	0,9295

Ao analisar-se a eficiência das estimativas da variável DAP, nos modelos selecionados para o processo de validação, observa-se que as estatísticas de qualidade

apresentaram resultados superiores quando as espécies foram classificadas por grupo ecológico e de acordo a exigência por luz, excetuando o grupo das Pioneiras que apresentou valores inferiores ao grupo de todas as espécies. Com relação à análise dos gráficos entre os valores observados e estimados, bem como dos gráficos de resíduos, nota-se uma superestimação dos valores para a variável H, no modelo 3, para todos os grupos de classificação.

Segundo Stepka (2012), alguns aspectos devem ser levados em consideração quando se pretende modelar as alterações dimensionais de árvores nativas por apresentarem diferenças individuais, uma vez que estas não se encontram em condições semelhantes de solo, luz e competição, diferentemente de plantios homogêneos da mesma espécie, em que todas estas condições são semelhantes e, conseqüentemente, o incremento das árvores é semelhante.

As arquiteturas das melhores redes obtidas no processo de treinamento (Tabela 13), mostra que apenas a RNA 1 obteve número diferentes de neurônios entre as camadas. Segundo Silva (2009), a obtenção da arquitetura adequada da rede neural depende de inúmeras tentativas, a fim de gerar resultados satisfatórios, uma vez que esse processo é aleatório, ou seja, o número de neurônios por camadas não se baseia em nenhum critério, apenas em tentativa. Outro aspecto que diferenciou nas arquiteturas foi a função de ativação. Enquanto as RNA 1 e 2 apresentaram função de ativação tangente, as RNA 3 e 4 foram compostas pelas funções logística e exponencial, respectivamente.

De acordo com Castro (2011), a função de ativação, também chamada de função de transferência, é uma função matemática que, aplicada à combinação linear entre as variáveis de entrada e pesos que chegam a determinado neurônio, retorna um valor de saída.

Tabela 13 - Arquitetura das Redes Neurais Artificiais empregadas no treinamento para obtenção do DAP e H.

Rede	Tipo	Função de ativação	Número de neurônios		
			Camada 1	Camada 2	Camada 3
1	MLP	Tangente	7	12	2
2	MLP	Tangente	7	9	2
3	MLP	Logística	7	9	2
4	MLP	Exponencial	7	9	2

As estatísticas na Tabela 14 e os gráficos das Figuras 7 e 8 permitem identificar que a rede 1 foi a que apresentou as melhores estimativas para a variável diâmetro, enquanto que, para a variável altura, a rede 4 apresentou as melhores estimativas, isso para o grupo de todas as espécies.

A partir das redes, geradas no processo de treinamento, avaliou-se as estatísticas de qualidade, para o grupo de todas as espécies, por grupo ecológico e quanto a exigência por luz. Quando se faz um comparativo do comportamento das RNA por grupo ecológico e por grupos classificados de acordo a exigência por luz, percebe-se que não há discrepância nos resultados em relação ao grupo de todas as espécies de fragmento. Pode-se aferir, que, mesmo com a inserção da variável categórica “grupo ecológico” na camada de entrada no treinamento das redes, não há diferenças abruptas se a projeção for efetuada de forma generalizada ou de acordo a classificação feita no estudo em questão.

Não obstante aos modelos tradicionais, as estatísticas obtidas pelas RNA, referentes às estimativas da variável altura, foram inferiores às encontradas para a variável diâmetro (Tabela 14).

Tabela 14 - Estatísticas de qualidade das quatro melhores Redes Neurais Artificiais obtidas a partir do treinamento.

Grupo	RNA	Variáveis de saída	Erro Padrão ( $S_{xy}$ %)	CV (%)	Bias	R <sup>2</sup>
Todas as espécies	1	DAP	1,1045	9,9780	0,1011	0,9864
		H	1,5049	16,1923	-0,0630	0,9348
	2	DAP	1,1177	10,0974	0,1476	0,9862
		H	1,5099	16,2459	-0,0616	0,9344
	3	DAP	1,1369	10,2712	0,1760	0,9861
		H	1,5131	16,2798	-0,0728	0,9342
	4	DAP	1,1531	10,4176	0,1893	0,9854
		H	1,5018	16,1591	-0,0655	0,9348
Pioneiras	1	DAP	0,9381	8,9433	-0,3159	0,9703
		H	1,1779	10,8526	-0,0789	0,9400
	2	DAP	0,8947	8,5299	-0,3092	0,9728
		H	1,1994	11,0506	-0,1005	0,9390
	3	DAP	0,8877	8,4630	-0,3054	0,9731
		H	1,1836	10,9052	-0,0664	0,9404
	4	DAP	0,8881	8,4670	-0,3217	0,9718
		H	1,1610	10,6969	-0,0900	0,9397

Continua...



Tabela 14, Cont.

Secundárias Iniciais	1	DAP	1,1001	10,6516	-0,3675	0,9754
		H	1,4174	17,3235	0,0479	0,8058
	2	DAP	1,0372	10,0432	-0,2504	0,9765
		H	1,4127	17,2664	0,0528	0,8065
	3	DAP	1,0307	9,9801	-0,0855	0,9760
		H	1,4917	18,2318	0,1187	0,7929
	4	DAP	1,0605	10,2679	-0,1303	0,9745
		H	1,4115	17,2507	0,0309	0,8040
Secundárias Tardias	1	DAP	1,1327	10,5610	-0,5830	0,9929
		H	1,2275	13,4378	0,2328	0,9628
	2	DAP	0,8323	7,7602	-0,3272	0,9935
		H	1,2132	13,2817	0,1597	0,9622
	3	DAP	0,2995	3,0604	-0,0651	0,9926
		H	1,5735	16,0891	0,1038	0,9391
	4	DAP	0,8125	7,5750	-0,2402	0,9929
		H	1,2272	13,4350	0,2274	0,9638
Clímax	1	DAP	1,0122	10,3056	-0,8960	0,9902
		H	1,6802	15,2646	0,5666	0,8761
	2	DAP	0,8579	12,1417	-0,5331	0,9906
		H	1,5376	15,1235	0,3721	0,9775
	3	DAP	0,5630	5,2494	-0,0551	0,9934
		H	0,5675	6,5037	0,0944	0,9834
	4	DAP	0,8438	28,0006	-0,7295	0,9987
		H	1,7202	34,1700	0,5883	0,9864
Heliófilas	1	DAP	0,3685	3,5371	0,1089	0,9699
		H	0,4970	6,0320	-0,4890	0,8823
	2	DAP	0,3643	3,4973	0,0681	0,9712
		H	0,5025	6,0990	-0,4302	0,8879
	3	DAP	0,3712	3,5637	0,0645	0,9708
		H	0,4965	6,0256	-0,4725	0,8776
	4	DAP	0,3637	3,4913	0,1700	0,9697
		H	0,5016	6,0876	-0,4969	0,8841
Umbrófilas	1	DAP	0,4338	4,5653	0,2487	0,9902
		H	0,8729	9,9459	-0,1467	0,9353
	2	DAP	0,8235	8,6671	0,2043	0,9901
		H	1,4236	16,2216	-0,0850	0,9358
	3	DAP	0,8314	8,7500	0,3822	0,9896
		H	1,4200	16,1804	-0,0820	0,9358
	4	DAP	0,9375	9,8665	0,3910	0,9894
		H	1,4044	16,0021	-0,1201	0,9372

Os gráficos da relação entre os valores estimados e observados das RNA (Figura

3 e 4) apresentaram a mesma tendência

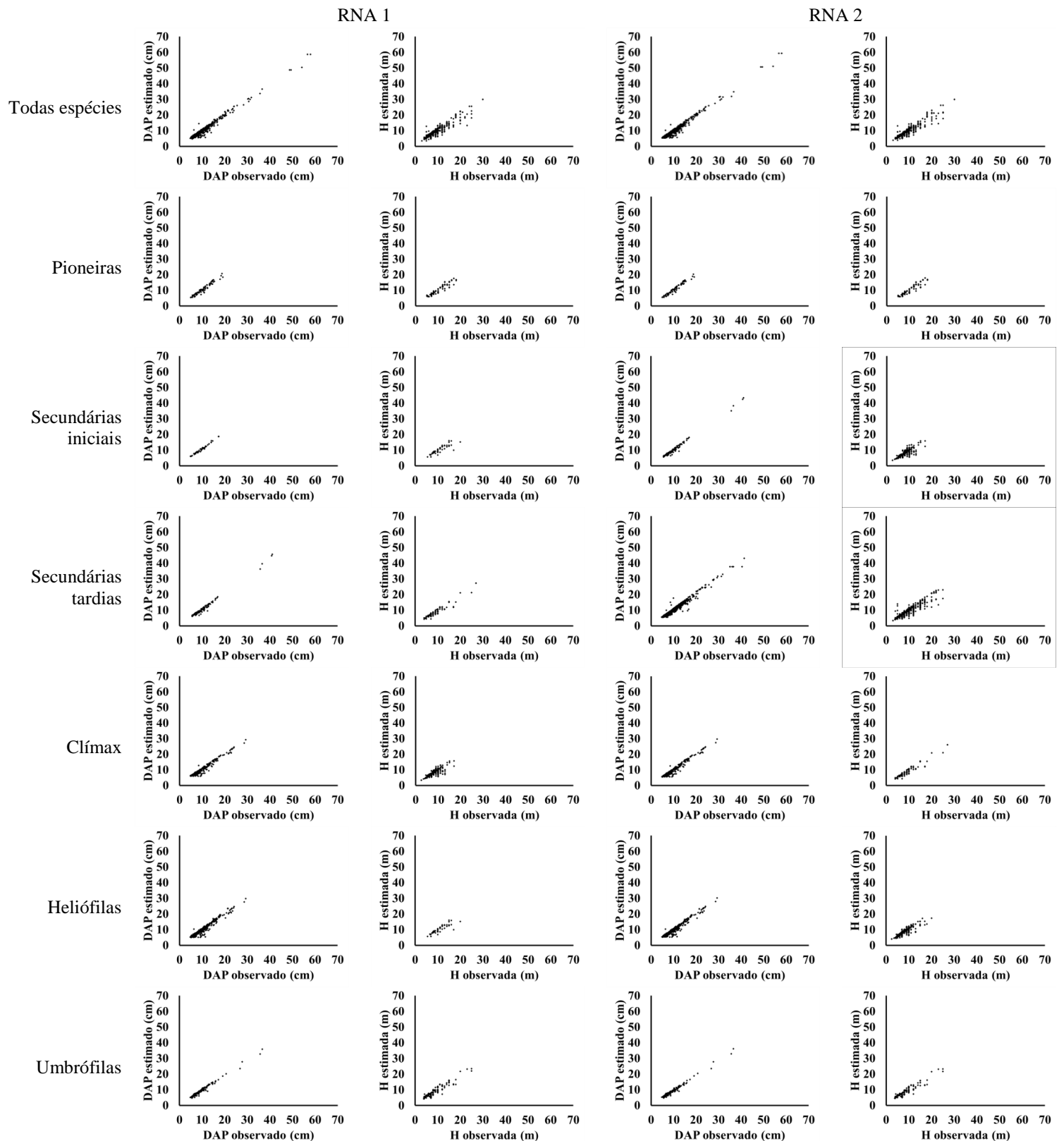


Figura 6 - Gráficos da dispersão entre os valores observados e os valores estimados das redes 1 e 2.

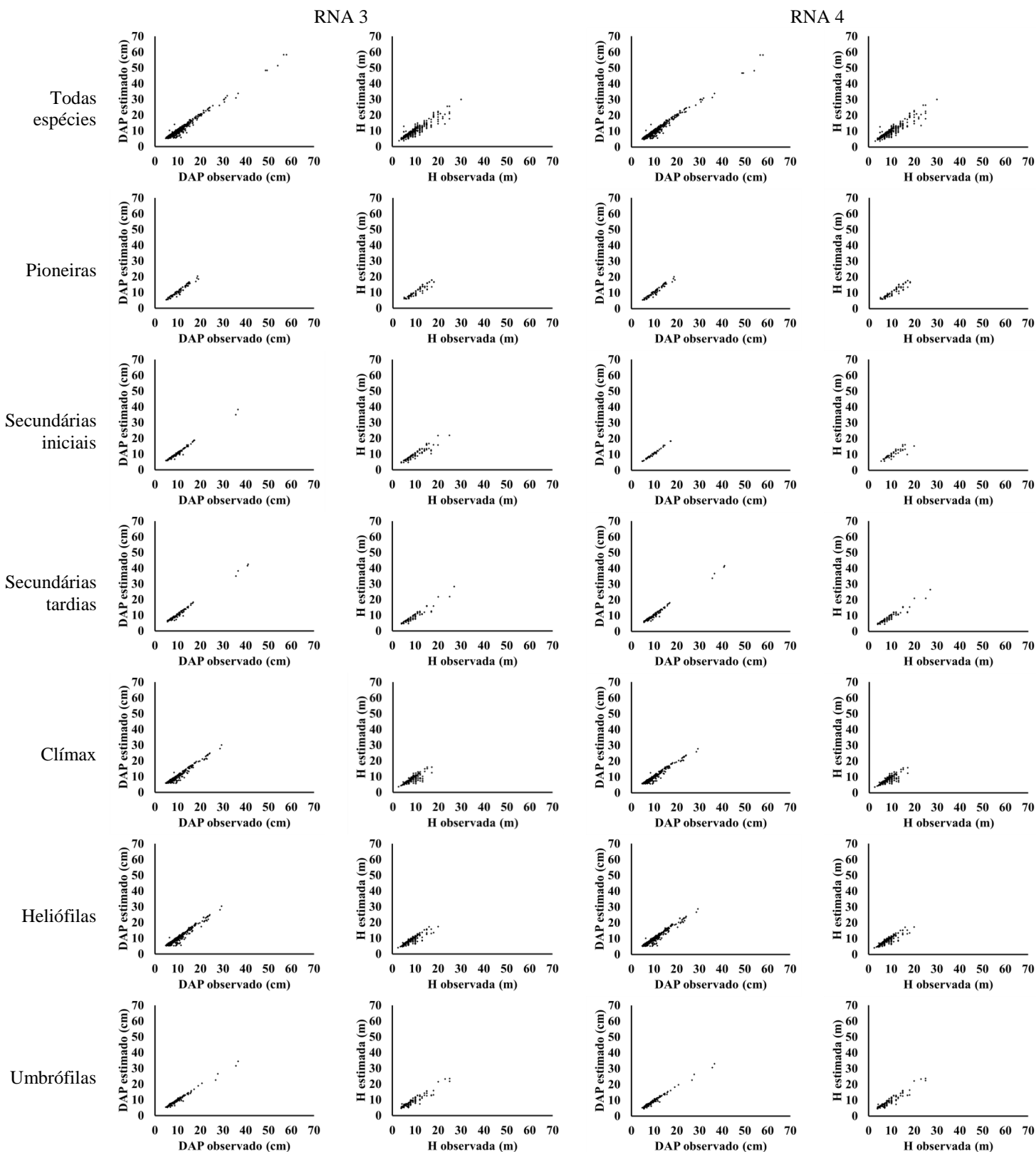


Figura 7 - Gráficos da dispersão entre os valores observados e os valores estimados das redes 3 e 4.

Como se trata de floresta natural, os gráficos não apresentaram um padrão homocedástico na distribuição dos dados, isso indistintamente da técnica de projeção adotada. As redes 1 e 2 (Figura 9) não apresentaram tendenciosidade na dispersão dos

resíduos, enquanto as redes 3 e 4 (Figura 10) apresentaram pequena tendência de subestimação e de superestimação dos valores estimados, respectivamente.

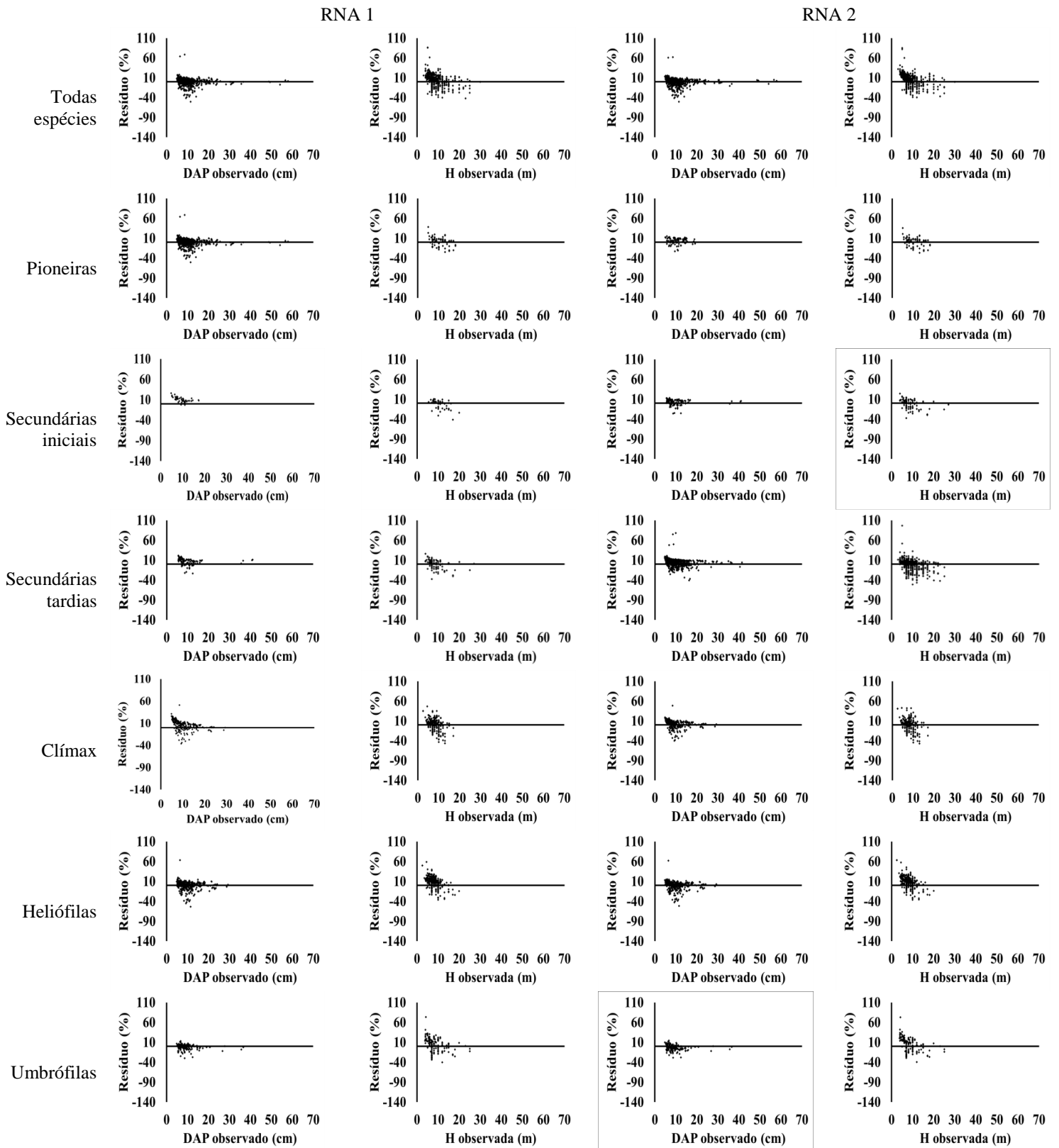


Figura 8 - Gráficos de resíduos das redes 1 e 2 empregadas nas estimativas de DAP e H.

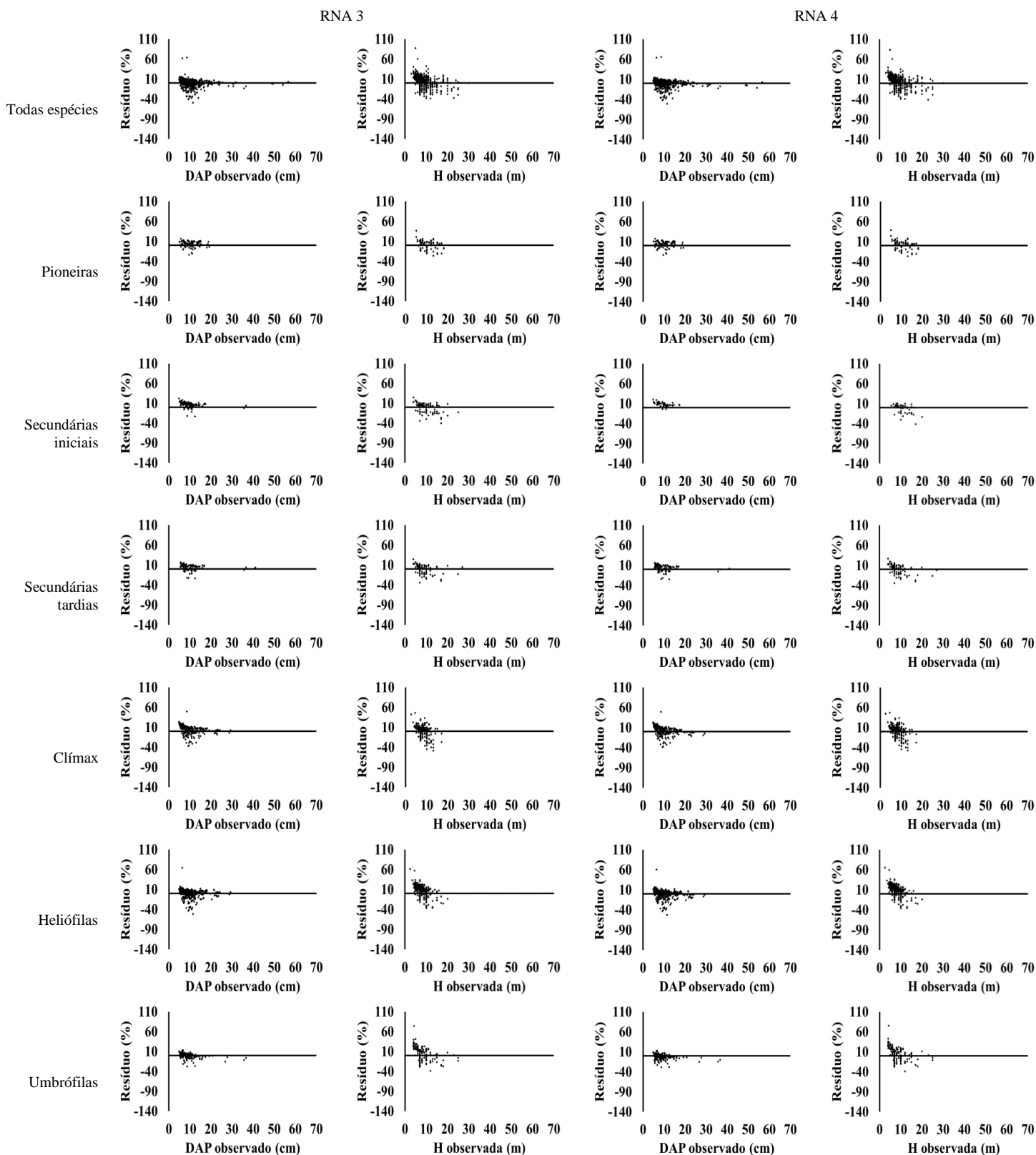


Figura 9 - Gráficos de resíduos das redes 3 e 4 empregadas nas estimativas de DAP e H.

Ao se comparar as estatísticas geradas no processo de validação dos melhores modelos tradicionais (Tabela 12), empregados para a projeção do diâmetro e altura, e as estatísticas geradas pela melhor rede neural artificial (RNA 1), também usada para a

projeção das variáveis supracitadas, (Tabela 15), a RNA 1 apresentou resultados superiores, quando é verificada para todas as espécies.

Quando se analisa o comportamento das estatísticas, de acordo a classificação em grupos, a RNA 1 continua sendo a melhor alternativa para a projeção do DAP e H para o cenário futuro de crescimento no período de cinco anos. Todavia, o grupo das secundárias iniciais, dos modelos tradicionais, apresentou melhores estatísticas para a projeção de ambas as variáveis. O grupo ecológico Clímax e o grupo que exige a incidência de luz, Heliófilas, apresentaram resultados superiores aos da RNA 1 apenas para a variável DAP.

A capacidade de validação das redes é imprescindível para aplicação da rede que obteve o melhor comportamento por conta do emprego dessa mesma rede em outros trabalhos, cujo o objeto de estudo seja o mesmo tipo de vegetação do trabalho em questão. Outro ponto importante neste processo é que a rede não tende a ficar viciada aos dados, uma vez que emprega dados diferentes aos usados no treinamento.

Tabela 15 - Estatísticas de qualidade geradas da validação da melhor RNA.

		Erro Padrão	CV %	Bias	Correlação
Todas as espécies	DAP	1,1045	9,9780	0,1011	0,9864
	H	1,5049	16,1923	-0,0630	0,9348
Pioneiras	DAP	0,9381	8,9433	-0,3159	0,9703
	H	1,1779	10,8526	-0,0789	0,9400
Secundárias Iniciais	DAP	1,1001	10,6516	-0,3675	0,9754
	H	1,4174	17,3235	0,0479	0,8058
Secundárias Tardias	DAP	1,1327	10,5610	-0,5830	0,9929
	H	1,2275	13,4378	0,2328	0,9628
Clímax	DAP	1,0122	10,3056	-0,8960	0,9902
	H	1,6802	15,2646	0,5666	0,8761
Heliófilas	DAP	0,3685	3,5371	0,1089	0,9699
	H	0,4970	6,0320	-0,4890	0,8823
Umbrófilas	DAP	0,4338	4,5653	0,2487	0,9902
	H	0,8729	9,9459	-0,1467	0,9353

Os ajustes gerados se mostram melhores do que os ajustes obtidos pelos modelos de regressão. A superioridade das estatísticas de qualidade, obtidas no processo de validação, para os modelos tradicionais e RNA, é perceptível na figura 10. Outro fator relevante é a facilidade de uso das RNA, onde podem ser adicionadas novas variáveis de entrada sem que seja preciso fazer alterações no modelo, ou na forma de aplicação.

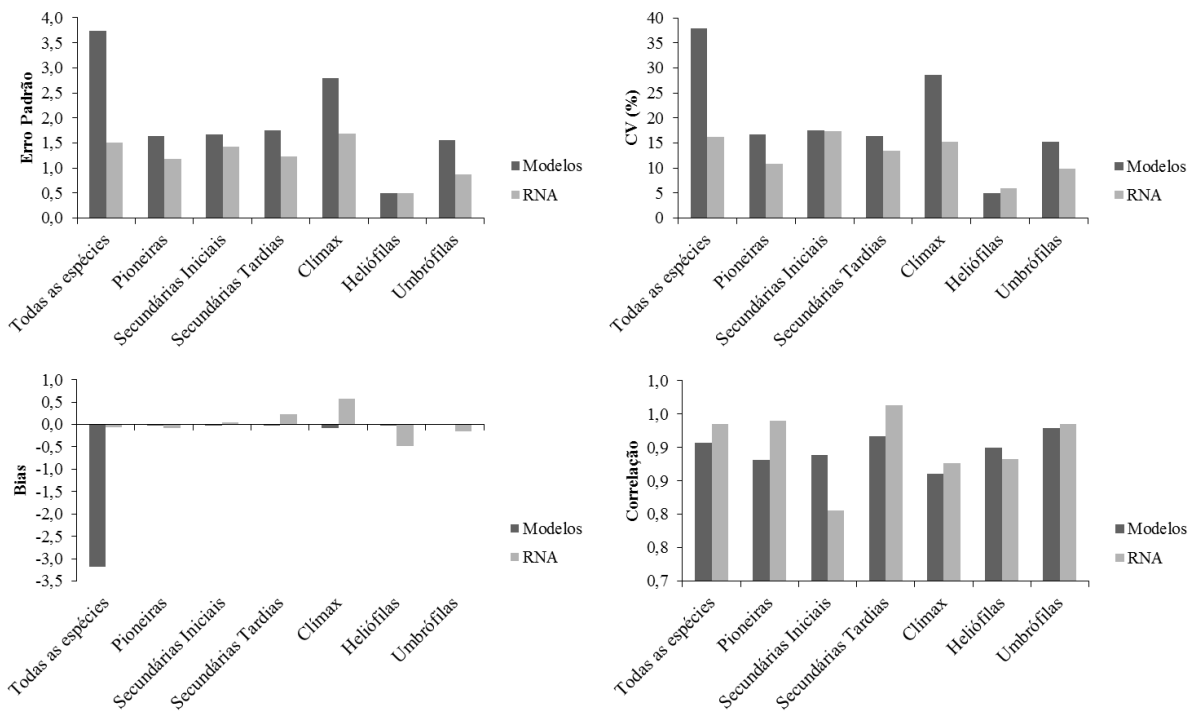


Figura 10 - Gráficos das estatísticas de qualidade para os modelos tradicionais de crescimento e RNA, ambos obtidos no processo de validação.

Ambas metodologias podem ser consideradas adequadas à estimativa da altura total, assim como Diâmetro à altura do peito. Desta forma, o presente estudo corrobora com Binoti (2012), demonstrando que as redes neurais artificiais podem ser utilizadas, em alguns casos, para substituir modelos hipsométricos com qualidade e eficiência.

Segundo Leal et al. (2015), um dos motivos que faz com que as RNA se mostrem superiores aos modelos tradicionais de regressão é derivado das características ligadas à estrutura, bem como à distribuição paralela, celeridade no aprendizado e na habilidade de generalizar. Ainda sobre as vantagens da aplicação de RNA como alternativa aos modelos de regressão, Haykin (2001), relatou que o emprego de redes resolve problemas mais complexos e conseguem modelar uma gama de variáveis, bem como entre relações não lineares.

## **4. CONCLUSÕES**

- Avaliar a projeção do crescimento dendrométrico, principalmente para a variável diâmetro, foi mais eficaz quando classificado em grupos sucessionais;
- A projeção do crescimento em diâmetro e altura das árvores do fragmento de floresta semidecidual foi preciso pelas duas metodologias (Regressão e Redes Neurais Artificiais).
- Projetar o crescimento dendrométrico por Redes Neurais Artificiais foi mais eficiente que por modelos tradicionais.



## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M S.; LEITE, H. G. Redução dos custos em inventário de povoamentos equiâneos utilizando redes neurais artificiais. **Agrária**, v.8, p.125- 129, 2012.

BINOTI, M. L. M S. **Redes neurais artificiais para prognose da produção de povoamentos não desbastados de eucalipto**. 2010. 54p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

BINOTI, M. L. M. S.; BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G. Aplicação de redes neurais artificiais para estimação da altura de povoamentos equiâneos de eucalipto. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.37, n.4, p.639-645, 2013.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4<sup>a</sup>.ed. Viçosa-MG: UFV, p.605, 2013.

CASTRO, R. V. O. **Modelagem do crescimento em nível de árvores individuais utilizando redes neurais e autômatos celulares**. 2011. 80p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) -Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

CORDEIRO, M. A.; PEREIRA, A. R. S.; BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G. Aplicação de redes neurais artificiais para quantificação volumétrica de árvores de eucalipto no estado do amapá. **Revista de biologia e ciências da terra**. v.15, 2015.

GASPAR, R.O. **Classificação de estágios sucessionais, estoque e crescimento em carbono de floresta estacional semidecidual, vale do rio doce, MG**. 2014. 83p. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência florestal da Universidade Federal de viçosa. Viçosa-MG. 2014.

GORGENS, E. B.; LEITE, G. L.; GLERIANI, J. M., SOARES, C. P. B.; CEOLIN, A. Influência da arquitetura na estimativa de volume de árvores individuais por meio de redes neurais artificiais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.38, n.2, p.289-295, 2014.

HAYKIN, S. **Redes neurais: princípios e prática**. Bookman, Porto Alegre. 2001. 900p.

LEAL, F. A.; MIGUEL, E. P.; MATRICARDI, E. A. T.; PEREIRA, R. S. Redes neurais artificiais na estimativa de volume em um plantio de eucalipto em função de fotografias hemisféricas e número de árvores. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v.33, n.2, p.233-249, 2015.

LINGNAU, C.; SILVA, M.N.; MACHADO, D.S.S.; LIMA, J.G.S. Mensuração de alturas de árvores individuais a partir de dados laser terrestre. **Ambiência**, v.4, n.4, p.85-96, 2009.

ROITMAN, I. **Modelagem espacial e temporal na mata de galeria do Gama – DF**. 2011. 169p. Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia da Universidade de Brasília (UnB). Brasília-DF, 2011.

SCHNEIDER, M. K.; LAW, R.; ILLIAN, J. B. Quantification of neighborhood-dependent plant growth by Bayesian hierarchical modelling. **Journal of Ecology**, v.94, p.310–321, 2006.

SILVA, M. L. M. et al. Ajuste do modelo de Schumacher e Hall e aplicação de redes neurais artificiais para estimar volume de árvores de eucalipto. **Revista Árvore**, v.33, n.6, p.1133-1139, 2009.

STATSOFT, INC. Statistica (Data Analysis Software System), Version 8, 2008.

STEPKA, T. F. **Modelagem do crescimento e dendrocronologia em árvores nativas de *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis* e *Ocotea porosa* no sul do Brasil**. 2012. 208p. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Paraná. Curitiba-PR, 2012.