

**UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO
JEQUITINHONHA E MUCURI - UFVJM**

STÊNIO ABDANUR PORFÍRIO FRANCO

**ESTRUTURA E VOLUME DE POVOAMENTO DE UM
REMANESCENTE DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL
EM CURVELO, MG**

**DIAMANTINA - MG
2012**

STÊNIO ABDANUR PORFÍRIO FRANCO

**ESTRUTURA E VOLUME DE POVOAMENTO DE UM
REMANESCENTE DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL
EM CURVELO, MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, área de concentração em Recursos Florestais, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador: Prof. Dr. Marcio Leles Romarco de Oliveira

**DIAMANTINA - MG
2012**

Ficha Catalográfica - Serviço de Bibliotecas/UFVJM
Bibliotecária Nathália Machado Laponez Maia
CRB6-3002

F825e

Franco, Stênio Abdanur Porfírio.

Estrutura e volume de povoamento de um remanescente de floresta estacional semidecidual em Curvelo, MG / Stênio Abdanur Porfírio Franco. – Diamantina : UFVJM, 2012.

67 p.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Leles Romarco de Oliveira.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, 2012.

1. Remanescente florestal atlântico. 2. Qualidade de fuste. 3. Redes neurais artificiais. I. Oliveira, Márcio Leles Romarco de. II. Título.

CDD 634.92

Elaborada com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

STÊNIO ABDANUR PORFÍRIO FRANCO

**ESTRUTURA E VOLUME DE POVOAMENTO DE UM
REMANESCENTE DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL
EM CURVELO, MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, área de concentração em Recursos Florestais, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 31 de agosto de 2012.

Prof. Dr. Aderlan Gomes da Silva - IFMG

Prof. Dr. Gilciano Saraiva Nogueira - UFVJM

Prof. Dr. Evandro Luiz Mendonça Machado – UFVJM

Prof. Dr. Israel Marinho Pereira - UFVJM

**Prof. Dr. Marcio Leles Romarco de Oliveira – UFVJM
(Orientador)**

**DIAMANTINA - MG
2012**

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo apoio, incentivos e por acreditarem nos meus sonhos.

Aos Professores Márcio Leles Romarco de Oliveira, Evandro Luiz Mendonça Machado e Israel Marinho Pereira pela amizade, competência, paciência, confiança e conselhos importantes para a conclusão deste trabalho.

À minha equipe de campo, Milton, Arthur, Any, Laís e Eduardo, pela ajuda, paciência e força de vontade.

Aos meus amigos Thiago e Marcos Paulo pelo apoio, compreensão, momentos de descontração e incentivos nas horas difíceis.

Aos companheiros Helinho, Stanley, Rick, Zé Vela e Conhaq, pela grande amizade, respeito, e bons momentos compartilhados.

À minha segunda família, República Trevo, presente em quase todos os momentos do caminho trilhado, pela convivência, aprendizado, discussões e experiências.

Aos meus colegas de curso pelo companheirismo e alegrias.

Aos professores do Departamento de Engenharia Florestal da UFVJM pelo profissionalismo, e ao programa de Pós-graduação em Ciência Florestal por acreditarem em nossos projetos e ambições.

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, pela oportunidade de fazer parte da sua história.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

À cidade de Diamantina, este paraíso mineiro que levarei comigo para a eternidade.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, meus pais, Renê de Tarço Porfírio Franco e Maria Angélica Abdanur Porfírio Franco, meus irmãos, Melissa, Estevão e Letícia, minha namorada Thais, meus cunhados Juninho e Rafael, e meus sobrinhos Gabriela e Miguel; pela compreensão da minha ausência, incentivos, confiança, dedicação e esforço durante esta e outras caminhadas.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo conhecer a estrutura e a composição florística de um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual, além de determinar o volume de povoamento por meio da aplicação de modelos de regressão e utilização de redes neurais artificiais. O remanescente possui aproximadamente 162 hectares e está localizado na Fazenda Experimental do Moura em Curvelo, MG, no qual foram alocadas sistematicamente 25 unidades amostrais de 400 m² (10 X 40 m), e todos os indivíduos vivos do compartimento arbóreo-arbustivo que possuíam fuste com $DAP \geq 5$ cm tiveram registrados os valores dos *DAPs*, altura total e de fuste, e atributos categóricos referentes à sanidade e tortuosidade dos fustes. Foram amostrados 1105 indivíduos distribuídos em 114 espécies, 41 famílias e 91 gêneros. Os valores encontrados para o índice de diversidade de Shannon Weaver e equabilidade de Pielou foram de 3,91 e 0,82 respectivamente. Pela análise volumétrica, verificou-se que modelos que utilizam a área basal e altura média como variáveis independentes apresentam estimativas aproximadas para quantificar o volume de povoamento, sendo indicados para esta finalidade. Do mesmo modo, a metodologia de redes neurais artificiais também se mostrou eficiente na quantificação do volume de florestas nativas nas condições deste estudo, pelo teste e nível de significância adotados. A associação de variáveis categóricas às contínuas nas camadas de entrada das redes neurais geradas, não resultou em estimativas mais precisas pelas condições assumidas neste trabalho.

Palavras-chave: remanescente florestal atlântico; qualidade de fuste; redes neurais artificiais.

ABSTRACT

This study aimed to know the structure and floristic composition of woody compartment of a remnant of semideciduous forest, as well as determine the stand volume by applying regression models and use of artificial neural networks. The remnant has approximately 162 hectares and is located on the Experimental Moura's Farm in Curvelo, MG, which were systematically allocated 25 plots of 400 m² (10 X 40 m), and all the individuals of the woody compartment who had bole with a DBH \geq 5 cm were recorded values of DBHs, total height and bole, and categorical attributes related to the sanity and tortuosity of the boles. Were sampled 1105 individuals in 114 species, 41 families and 91 genera. The values found for the index of Shannon Weaver diversity and evenness were 3.91 and 0.82 respectively. By volume analysis, it was found that models that use basal area and the average height as independent variables have rough estimates to quantify the stand volume, being indicated for this purpose. Similarly, the methodology of artificial neural networks also proved to be efficient in quantifying the volume of native forests in the conditions of this study, by the test and significance level adopted. The association of categorical variables to continuous in the input layers of neural networks generated, did not result in more accurate estimates by the conditions assumed in this work.

Key-words: *remaining atlantic forest; bole quality; artificial neural networks.*

SUMÁRIO

RESUMO	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
INTRODUÇÃO GERAL	12
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
CAPÍTULO 1	15
1. INTRODUÇÃO	15
1.2. MATERIAL E MÉTODOS	16
1.2.1. Descrição da área de estudo	16
1.2.2. Amostragem e coleta de dados	17
1.2.3. Composição e estrutura fitossociológica	18
1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
1.3.1. Levantamento florístico e análise fitossociológica	19
1.4. CONCLUSÕES	31
1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
CAPÍTULO 2	35
2. INTRODUÇÃO	35
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	37
2.2.1. Dados	37
2.2.2. Cálculo do erro de amostragem	37
2.2.3. Distribuição diamétrica	38
2.2.4. Obtenção dos volumes observados	38
2.2.5. Obtenção dos volumes estimados por ajustes de modelos	39
2.2.6. Obtenção dos volumes estimados pelas redes neurais artificiais utilizando variáveis contínuas	40
2.2.7. Obtenção dos volumes estimados pelas redes neurais artificiais utilizando variáveis contínuas e categóricas	41
2.2.8. Comparações entre as metodologias	42
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
2.3.1. Estimativas populacionais e erro de amostragem	42
2.3.2. Distribuição diamétrica	44
2.3.3. Correlações entre as variáveis utilizadas nos modelos	45
2.3.4. Volumes estimados pelas equações ajustadas	46
2.3.5. Volumes estimados pelas redes neurais geradas por variáveis contínuas	51
2.3.6. Comparação entre as melhores equações e redes neurais ajustadas por variáveis contínuas	55

2.3.7. Volumes estimados pelas redes neurais geradas por variáveis contínuas e categóricas	57
2.3.8. Comparação entre as melhores redes neurais ajustadas por variáveis contínuas e por variáveis contínuas e categóricas	61
2.4. CONCLUSÕES	62
2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES	67

LISTA DE FIGURAS

ANÁLISE FLORÍSTICA E ESTRUTURA FITOSSOCIOLÓGICA DE UM REMANESCENTE DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL EM CURVELO, MG.

Figura	Título	Página
1.1	Imagem aérea da Fazenda Experimental do Moura, Curvelo, MG, com demarcação aproximada de sua área em amarelo; sede da fazenda e área aproximada do remanescente de Floresta Estacional Semidecidual demarcados de vermelho. Fonte: Google Earth, Junho de 2012. Imagem de Maio de 2005.	16
1.2	Proporção dos diferentes padrões de distribuição espacial para os grupos de espécies com $VI \geq 2$; $1 \leq VI < 2$ e $VI < 1$, encontradas em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual, Curvelo, MG.	27

ESTIMATIVA DO VOLUME DE POVOAMENTO POR MODELOS DE REGRESSÃO E POR MEIO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS EM FLORESTAS NATURAIS

Figura	Título	Página
2.1	Distribuição do número de indivíduos por hectare por classe de diâmetro em cm, e coeficiente 'q' de De Liocourt de um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.	45
2.2	Distribuição dos resíduos percentuais para os modelos que estimam o volume total em $m^3.ha^{-1}$, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.	49
2.3	Distribuição dos resíduos percentuais para os modelos que estimam o volume de fuste em $m^3.ha^{-1}$, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.	50
2.4	Distribuição dos resíduos percentuais das redes neurais artificiais ajustadas para estimar os volumes totais com casca, em $m^3.ha^{-1}$, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.	53
2.5	Distribuição dos resíduos percentuais das redes neurais artificiais ajustadas para estimar os volumes de fuste com casca, em $m^3.ha^{-1}$, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.	54

Figura	Título	Página
2.6	Volumes totais por unidade de área estimados pela melhor equação ajustada (Equação 4) e pela arquitetura de redes neurais considerada mais adequada (Rede 8a), em função dos volumes totais observados em $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.	56
2.7	Volumes de fuste estimados por unidade de área pela melhor equação ajustada (Equação 12) e pela arquitetura de redes neurais considerada mais adequada (Redes 16a), em função dos volumes de fuste observados em $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.	56
2.8	Distribuição dos resíduos percentuais das redes neurais artificiais ajustadas para estimar os volumes totais com casca, em $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.	59
2.9	Distribuição dos resíduos percentuais das redes neurais artificiais ajustadas para estimar os volumes de fuste com casca, em $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.	60
2.10	Volumes de fuste estimados por unidade de área pela melhor rede neural ajustada somente com variáveis contínuas (rede 16a) e pela rede considerada mais adequada gerada a partir de variáveis contínuas e categóricas (Redes 13b), em função dos volumes de fuste observados em $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.	62

LISTA DE TABELAS

ANÁLISE FLORÍSTICA E ESTRUTURA FITOSSOCIOLÓGICA DE UM REMANESCENTE DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL EM CURVELO, MG.

Tabela	Título	Página
1.1	Relação entre a qualidade do fuste, nota recebida e proporção de aproveitamento do volume dos indivíduos amostrados em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.	18
1.2	Relação das espécies amostradas em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG, em ordem alfabética de família, com as respectivas densidades absolutas em indivíduos por hectare (<i>DA</i>) e número das parcelas ocorridas.	21
1.3	Listagem de espécies amostradas em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG, ranqueadas em ordem decrescente de valores de importância (<i>VI</i>) e cobertura (<i>VC</i>), com suas respectivas densidades relativas (<i>DR</i>), frequências relativas (<i>FR</i>), dominâncias relativas (<i>DoR</i>), densidades absolutas por qualidade de fuste (<i>DA_{Qfi}</i>) e padrões de distribuição espacial aferido pelo índice de Mac Guinnes.	25
1.4	Listagem das espécies amostradas em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG, ranqueadas em ordem decrescente de valores de importância e cobertura percentuais, com os respectivos números de indivíduos em cada estrato de altura e valores absolutos e relativos de posição sociológica (<i>PSAi</i> e <i>PSRi</i>).	28

ESTIMATIVA DO VOLUME DE POVOAMENTO POR MODELOS DE REGRESSÃO E POR MEIO DE REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS EM FLORESTAS NATURAIS

Tabela	Título	Página
2.1	Modelos volumétricos testados para estimar o volume total e o volume de fuste em $m^3 \cdot ha^{-1}$, para um fragmento de floresta estacional semidecidual em Curvelo, MG.	39

Tabela	Título	Página
2.2	Estimativas populacionais para as variáveis número de fustes por hectare; área basal (B) em $m^2.ha^{-1}$; alturas totais e de fuste médias em m, volume total (Vt) e de fuste (Vf) em $m^3.ha^{-1}$, volumes totais por unidade de área para cada classe de qualidade de fuste ($VQfi$), desvios padrão, coeficientes de variação, erros padrão da média, além dos valores calculados para o tamanho necessário da amostra (n), erro de amostragem ($e\%$), limites inferior e superior para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.	43
2.3	Matrizes de correlações entre as variáveis volumes totais e de fuste por unidade de área em $m^3.ha^{-1}$ (Vt ou Vf), área basal por unidade de área em $m^2.ha^{-1}$ (B) e alturas totais e de fuste médias em m (Ht ou Hf).	46
2.4	Equações ajustadas para volume total (Vt) e volume de fuste (Vf) em $m^3.ha^{-1}$ em função da área basal em $m^2.ha^{-1}$ (B), das alturas totais médias das árvores (Ht) em m, e das alturas de fuste médias (Hf) em m, com os respectivos coeficientes de correlação (r) e coeficientes de variação (CV), para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG	48
2.5	Valores observados e probabilidades para o teste “F” de Graybill a 95% de probabilidade, para os modelos que estimam o volume total (Vt) e o volume de fuste (Vf) em $m^3.ha^{-1}$, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.	51
2.6	Arquiteturas e índices de treinamento e validação das redes neurais artificiais ajustadas para obtenção dos volumes totais (Vt) e volumes de fuste (Vf) em $m^3.ha^{-1}$, a partir das variáveis área basal em $m^2.ha^{-1}$ (B), altura total média (Ht) e altura de fuste média (Hf), em metros, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.	51
2.7	Valores tabelados e observados do teste “F” de Graybill a 95% de probabilidade, para as redes neurais artificiais que estimam o volume total (Vt) e o volume de fuste (Vf) em $m^3.ha^{-1}$, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.	55
2.8	Arquiteturas e índices de treinamento e validação das redes neurais artificiais ajustadas para obtenção dos volumes totais e de fuste em $m^3.ha^{-1}$ a partir das variáveis DAP , Ht e Qf , para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.	57
2.9	Valores observados e probabilidades para o teste “F” de Graybill a 95% de probabilidade, para as redes neurais artificiais que estimam o volume total (Vt) e o volume de fuste (Vf) em $m^3.ha^{-1}$, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.	61

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil possui a maior cobertura de florestas tropicais do mundo e abriga uma imensa diversidade biológica, o que faz dele o principal entre os países detentores de megadiversidade do Planeta, com estimativa de aproximadamente 200.000 espécies descritas na fauna e flora (LEWINSOHN e PRADO, 2005). A expressiva diversidade de ecossistemas florestais encontrados no Brasil é atribuída à sua vasta extensão territorial, atrelada à alta diversidade geológica e diversas condições topográficas e climáticas (LEITÃO-FILHO, 1987).

Entre os tipos de matas estacionais encontradas no Brasil, as florestas estacionais semidecíduais encontram-se distribuídas de forma fragmentada em função de perturbações, e ocupam parte dos estados do Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás e em menor escala de área, os estados de Espírito Santo, Rio de Janeiro e Sul da Bahia. Em Minas Gerais, as florestas semidecíduais predominavam em uma vasta região do centro-sul e leste do estado (IBGE, 1993; LEITÃO-FILHO, 1982), no entanto, devido às atividades antropogênicas, essa cobertura florestal foi reduzida drasticamente, formando mosaicos de remanescentes esparsos (OLIVEIRA-FILHO et al., 1994a).

A exploração de recursos florestais de forma predatória, como as derrubadas indiscriminadas, atividades agropecuárias degradantes, queimadas, etc., são fatores que contribuem para fragmentação dessa formação florestal, formando mosaicos descontínuos de matas circundadas por áreas de cerrado, campos rupestres e outras formações campestres. As florestas semidecíduais, em particular, foram drasticamente reduzidas, uma vez que sua ocorrência coincide com solos mais férteis e úmidos e, portanto, mais visados pela agropecuária (OLIVEIRA-FILHO et al., 1994b). Os fragmentos de florestas nativas representam um desafio para a conservação, uma vez que abrigam uma biodiversidade ainda pouco conhecida e altamente ameaçada.

A situação crítica em que se encontram as florestas do Brasil motivou nos últimos anos, uma série de iniciativas voltadas para sua conservação. Surgiram várias alternativas para o melhor aproveitamento e gerenciamento dos recursos florestais, entre elas, o manejo florestal. Este se refere ao desenvolvimento e aplicação de métodos quantitativos e conhecimentos ecofisiológicos, visando gerar produtos, serviços e, ou, benefícios, diretos e indiretos, com a garantia de sustentabilidade, a partir de uma floresta (CAMPOS e LEITE, 2009).

A importância e a necessidade de se conservar os remanescentes florestais esbarram na aplicação de práticas silviculturais e de manejo, que subsidiadas por informações técnicas acerca do recurso, possibilitam a utilização do mesmo sem intervir drasticamente no ambiente e sem comprometer sua sobrevivência. De acordo com Hosokawa et al. (1995), para que haja um aproveitamento racional das florestas, é indispensável a aplicação de procedimentos silviculturais adequados, fundamentados no conhecimento de sua composição e estrutura, e na ecologia de cada tipo de formação vegetal. As análises estruturais permitem fazer deduções sobre as origens, características ecológicas, dinamismo e tendências do futuro desenvolvimento das florestas, elementos básicos para o planejamento do manejo silvicultural.

Assim como a avaliação estrutural, as estimativas volumétricas também representam informações fundamentais para o manejo dos recursos florestais madeireiros, e segundo Buckman (1961) e Collom (1967), o volume do povoamento, que determina de forma direta o volume por unidade de área, pode ser estimado com precisão utilizando-se como variáveis de entrada, a área basal por unidade de área e a altura média ou dominante das árvores. Este volume de povoamento além de estimar o estoque de madeira presente na área, pode ser correlacionado para determinar a quantidade de carbono estocada. Usualmente estas estimativas são obtidas por meio de tabelas de volume ou equações provenientes de ajustes de regressão.

A avaliação da qualidade e sanidade dos fustes das árvores são elementos relevantes para a quantificação do volume de florestas, uma vez que abordam a forma e a condição de integridade do tronco dos indivíduos, representando informações que podem auxiliar na análise do volume comercial madeireiro e precisão das estimativas.

O trabalho foi realizado em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual no município de Curvelo, MG, e estruturado em dois capítulos, sendo que o primeiro objetivou descrever o remanescente por meio da análise de parte de sua composição florística e de sua estrutura fitossociológica, além de subsidiar o capítulo seguinte com informações fundamentais acerca do compartimento estudado. No segundo capítulo, objetivou-se descrever a estrutura diamétrica da comunidade e determinar o volume de povoamento por meio de redes neurais artificiais e por modelos volumétricos, além de comparar estimativas obtidas por redes neurais utilizando variáveis contínuas, e variáveis contínuas e categóricas (qualidade dos fustes) simultaneamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUCKMAN, R. E. Development and Use of Three Stand Volume Equations for Minnesota. **Journal of Forestry**, Bethesda, MD, USA, v.59, n. 8, p.573-575, 1961.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal**: perguntas e respostas. 3.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 548p.

CORAIOLA, M.; PÉLLICO NETTO, S. Análise da estrutura dimensional de uma floresta estacional semidecidual localizada no município de Cássia – MG: estrutura volumétrica. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, PR, v.1, n.4, p.11-24, 2003.

COLLOM, J. L. Stand volume equations for Shortleaf Pine in Missouri. U. S. **Forest Service – U.S. Department of Agriculture**. Research note nc-24, 1967.

HOSOKAWA, R. T.; SOLTER, F. **Manejo florestal**. UFPR, 43 P. 1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. Departamento de Cartografia DECAR/DEDIT/CDDI. **Mapa de vegetação do Brasil**. Escala 1: 5.000.000. Rio de Janeiro, 1993.

LEITAO-FILHO, H. F. Aspectos taxonômicos das florestas do estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, SP, 16A(1):197-206, 1982.

LEITÃO-FILHO, H. F. Considerações sobre a florística de florestas tropicais e subtropicais do Brasil. **IPEF**, n. 35, p. 41-46, 1987.

LEWINSOHN, T. M.; PRADO, P. I. How many species are there in Brazil? **Conservation Biology**, Massachusetts, USA, 19(3): 619-624, 2005.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; ALMEIDA, R. J.; MELLO, J. M.; GAVILANES, M. L. Estrutura fitossociológica e variáveis ambientais em um trecho da mata ciliar do córrego dos Vilas Boas, Reserva Biológica do Poço Bonito, Lavras (MG). **Revista Brasileira de Botânica**, Rio de Janeiro, RJ, v.17 n.1, p.67-85, 1994a.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M. Composição florística e estrutura comunitária de um remanescente de floresta semidecídua montana em Lavras (MG). **Revista Brasileira de Botânica**, Rio de Janeiro, RJ, v.17 n.2, p.159-174, 1994b.

CAPÍTULO 1

ANÁLISE FLORÍSTICA E ESTRUTURA FITOSSOCIOLÓGICA DE UM REMANESCENTE DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL EM CURVELO, MG

1. INTRODUÇÃO

O bioma Mata Atlântica compreende um conjunto de distintas fisionomias florestais, dentre elas as Florestas Estacionais Semidecíduais, normalmente associadas a duas estações climáticas bem pronunciadas, uma chuvosa e quente (de setembro a março) e uma mais seca e fria (de abril a agosto) (VELOSO, 1992), quando ocorre uma queda parcial das folhas como resposta às condições do ambiente. A presença dessas matas, na maioria das vezes, está associada à ocorrência de cursos d'água e caracterizam largos trechos da paisagem do interior brasileiro.

No estado de Minas Gerais, as Florestas Estacionais Semidecíduais encontram-se amplamente distribuídas, porém bastante fragmentadas, ocorrendo em toda a região leste, grandes porções do sul e do sudeste, estendendo-se ainda, pelos vales dos rios Paranaíba, Grande e seus afluentes, e encaves de araucária localizados no extremo sul do estado (COSTA et al., 1998).

A utilização dos recursos florestais pelo homem, através dos tempos, provocou uma drástica redução das diversas comunidades vegetais, comprometendo a sustentabilidade e a posterior manutenção de suas diversidades biológicas (NASCIMENTO et al., 2001). As Florestas Semidecíduais de Minas Gerais sofrem o mesmo processo de perturbação dos demais ecossistemas brasileiros (MARANGON et al., 2003), tanto por impactos naturais causados pelos cursos d'água, como erosão e sedimentação, quanto pelas frequentes intervenções antrópicas, com ênfase na substituição destes recursos por áreas agrícolas e pastagens, uma vez que sua ocorrência coincide com solos mais férteis e úmidos (VAN DEN BERG e OLIVEIRA FILHO, 2000).

O conhecimento da organização estrutural do compartimento arbóreo destes ecossistemas, por meio de estudos fitossociológicos, é base para a definição de estratégias de manejo e conservação de remanescentes florestais (PINTO et al., 2007).

O presente capítulo objetivou conhecer parte da composição florística e da estrutura fitossociológica do compartimento arbóreo-arbustivo do fragmento, buscando informações que auxiliem o desenvolvimento de planos de ação de caráteres sustentáveis e

conservacionistas, além de subsidiar o capítulo subsequente com informações fundamentais sobre o remanescente.

1.2. MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1. Descrição da área de estudo

O trabalho foi desenvolvido em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual Montana (VELOSO, 1991) de aproximadamente 162 hectares na Fazenda Experimental do Moura, área sob regime de comodato da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, localizado no município de Curvelo, MG, na bacia do Rio São Francisco, com sede nas coordenadas 18°45'S e 45°25'W e altitude média de 715 m. A região apresenta clima do tipo Aw, tropical com inverno seco, de acordo com a classificação de Köppen, com temperaturas médias em torno de 28°C, e índice pluviométrico próximo a 1200 mm anuais, concentrado no verão (BRASIL, 1992; STRAHLER e STRAHLER, 2002). O remanescente estudado encontra-se margeado por fisionomias de cerrado típico, cerradões e áreas modificadas pela agricultura (Figura 1.1), e a presença de um curso d'água que percorre todo interior da floresta forma um gradiente de umidade em direção à borda, como comumente encontrado neste tipo de vegetação.

O histórico de perturbações antrópicas e naturais na área não é conhecido, embora haja relatos de retirada esporádica de madeira nos últimos dez anos, de trânsito de gado e fogo.



Figura 1.1 – Imagem aérea da Fazenda Experimental do Moura, Curvelo, MG, com demarcação aproximada de sua área em amarelo; sede da fazenda e área aproximada do remanescente de Floresta Estacional Semidecidual demarcados de vermelho. Fonte: Google Earth, Junho de 2012. Imagem de Maio de 2005.

1.2.2. Amostragem e coleta de dados

Os dados para realização deste estudo foram coletados mediante inventário do compartimento arbóreo-arbustiva do remanescente, por meio de amostragem, utilizando parcelas de área fixa. A proposta é que estas parcelas sejam permanentes, permitindo o acompanhamento da dinâmica de crescimento da floresta por meio de novas medições ao longo do tempo, e que sirvam para diferentes finalidades de pesquisa. Para facilitar a localização e o caminhamento entre as unidades de amostra, inicialmente foram abertos transectos transversais à borda do fragmento, espaçados por 100 metros lineares. A primeira parcela de cada transecto foi alocada a 40 metros da borda do fragmento (excluindo possíveis influências externas) e a 30 metros da unidade seguinte.

O número de unidades amostrais em cada transecto foi determinado de acordo com a largura do trecho da floresta, respeitando as distâncias preestabelecidas. Totalizando a amostragem, foram alocadas sistematicamente 25 parcelas de 400 m² (10 X 40 m), devidamente demarcadas com estacas de PVC e seus vértices unidos com fitilhos de náilon. Cruzetas foram utilizadas para a orientação do caminhamento e do alinhamento das parcelas, e uma trena para medir as distâncias horizontais. Devido às diferenças topográficas do terreno, as parcelas tiveram suas áreas corrigidas em campo durante a alocação.

Utilizou-se como nível de inclusão, todos os indivíduos arbóreo-arbustivos vivos que possuíam pelo menos um fuste com diâmetro a 1,30 m de sua base (*DAP*) igual ou superior a 5 cm. Os demais fustes de um indivíduo, além daquele incluso, que apresentavam *DAP* também foram inseridos na amostragem independente de suas dimensões. Para cada fuste foram registrados: o nome da espécie, o valor de *DAP* em cm, altura total e de fuste em m. As alturas totais e de fuste foram estimadas com o auxílio de uma vara telescópica de 6 m de comprimento, graduada metricamente para facilitar a visualização. Atributos qualitativos dos fustes dos indivíduos também foram registrados e categorizados com notas de 1 a 3 para qualificar o indivíduo como “bom”, “regular” ou “inferior” respectivamente, em relação a sua qualidade de fuste (Tabela 1.1). As notas foram dadas quanto à sanidade (presença de ocos) e tortuosidade dos fustes, segundo Amaral et al. (1998).

Tabela 1.1 - Relação entre a qualidade do fuste, nota recebida e proporção de aproveitamento do volume dos indivíduos amostrados em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG

Qualidade do fuste	Atributo/Nota	Aproveitamento (%)
Bom	1	80 - 100
Regular	2	50 - 79
Inferior	3	< 50

A identificação de parte do material botânico foi realizada em campo pelas equipes e as espécies não identificadas no local foram devidamente coletadas com o auxílio de um podão e levadas ao Laboratório de Dendrologia e Ecologia da UFVJM. Foram confeccionadas exsiccatas e posteriormente identificadas por meio de consultas à literatura e especialistas, ou por comparações com espécimes existentes no Herbário Dendrológico Jeanine Felfili (HDJF) (UFVJM). As exsiccatas confeccionadas com o material coletado farão parte do acervo do HDJF. As identificações seguiram o sistema APG III (ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP III, 2009).

1.2.3. Composição e estrutura fitossociológica

Para a realização das análises ecológicas foram considerados todos os indivíduos que possuíam pelo menos um fuste com diâmetro a 1,30 m de sua base (*DAP*) igual ou superior a 5 cm. Como todos os fustes que apresentavam *DAP* dos indivíduos inclusos foram mensurados, estes foram fundidos por meio da raiz do somatório dos valores de *DAP* ao quadrado, gerando um único valor para a variável (DAP_f), evitando superestimções nos valores encontrados para os índices.

Neste estudo, a análise florística foi baseada na listagem de parte das espécies arbóreo-arbustivas ocorrentes na área amostrada e a diversidade das espécies contemplada por meio do emprego do índice de diversidade de Shannon-Weaver (H') e Equabilidade de Pielou (J) (BROWER e ZAR, 1984). A estrutura horizontal do remanescente foi verificada pelos estimadores de densidades, dominâncias e frequências, absolutas e relativas, e valores de importância e cobertura percentuais (MUELLER-DOMBOIS e ELLENBERG, 1974). O padrão de distribuição espacial de uma espécie refere-se à distribuição dos indivíduos da referida espécie na comunidade vegetal, e para se ter uma ideia dos padrões apresentados pelas espécies identificadas, no presente estudo, recorreu-se ao emprego do índice de McGuinness (IGA) (McGUINNES, 1934), descrito abaixo.

$$IGA_i = \frac{D_i}{d_i} ; \text{ sendo } D_i = \frac{n_i}{U_t}, \quad d_i = -\ln(1-f_i), \quad f_i = \frac{U_i}{U_t}$$

em que: IGA_i é o valor para o índice de distribuição espacial de MacGuinnes para a i -ésima espécie; D_i é a densidade observada da i -ésima espécie; d_i a densidade esperada da i -ésima espécie; n_i é o número de indivíduos da i -ésima espécie; U_t é o número total de unidades amostrais; \ln é o logaritmo neperiano; f_i é a frequência absoluta da i -ésima espécie e U_i representa o número de unidades amostrais em que a i -ésima espécie ocorre.

Os padrões de distribuição espacial das espécies em relação ao valor do índice de MacGuinnes foram atribuídos da seguinte forma:

- $IGA < 1$ → padrão uniforme;
- $IGA = 1$ → padrão aleatório;
- $1 < IGA \leq 2$ → tendência ao agrupamento; e
- $IGA > 2$ → padrão agregado.

A estrutura vertical foi descrita por meio dos valores de posição sociológica absoluta (PSA) e relativa (PSR) das espécies, em que é utilizada a média e o desvio padrão das alturas totais das árvores para estratificar a floresta. O estrato inferior compreende os indivíduos que possuem altura total menor que a altura média de todos os indivíduos menos um desvio padrão, o estrato superior é representado pelos indivíduos com alturas totais maiores que a altura média dos indivíduos mais um desvio padrão, e o estrato médio compreendem os valores de alturas totais intermediárias às dos estratos inferior e superior:

- Estrato inferior: $Ht < \bar{Ht} - 1DP_{Ht}$;
- Estrato médio: $\bar{Ht} - 1DP_{Ht} \leq Ht \leq \bar{Ht} + 1DP_{Ht}$; e
- Estrato superior: $Ht > \bar{Ht} + 1DP_{Ht}$.

em que: Ht é a altura total do indivíduo; \bar{Ht} é a altura média dos indivíduos; e DP_{Ht} representa o desvio padrão das alturas totais dos indivíduos.

1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1. Levantamento florístico e análise fitossociológica

Registrou-se 1105 indivíduos arbóreo-arbustivos vivos com pelo menos um DAP igual ou superior a 5 cm, sendo que foram identificados 1012 indivíduos até o nível específico,

distribuídos em 114 espécies, 91 gêneros e 41 famílias. A área basal total encontrada para a área estudada foi de 28,00 m².ha⁻¹.

Nas Tabelas 1.2, 1.3 e 1.4 encontram-se a listagem de espécies e descrição das estruturas horizontal e vertical para todas as espécies identificadas até nível específico. Os indivíduos identificados a nível de gênero ou família não foram incluídos nas análises. A inserção destes indivíduos na listagem como espécies novas ou como integrantes de espécies identificadas acarretariam em alterações nos valores do índice de diversidade ecológica e nos estimadores das estruturas horizontal e vertical respectivamente, sem a certeza de que a informação procede. Nas demais análises (Capítulo 2) todos os indivíduos amostrados foram considerados, já que estas análises não dependem da identificação das espécies às quais os indivíduos pertencem, somente de suas dimensões.

O índice de diversidade de Shannon-Weaver (H') foi de 3,91 nats/indivíduo, encontrando-se próximo a valores verificados para outros estudos em Florestas Semidecíduais no estado de Minas Gerais, como obtido por Machado et al. (2004), 3,89 nats/indivíduo; Araújo e Haridasan (1997), 4,01 nats/indivíduo; Mariscal-Flores (1993), 3,80 nats/indivíduo e Souza et al. (2003), 4,26 nats/indivíduo, mostrando que pelas condições adotadas neste trabalho, a área estudada encontra-se dentro dos padrões de diversidade ecológica verificados por outros estudos realizados no estado. Já o valor de equabilidade de Pielou (J) encontrado no presente estudo foi de 0,82, considerado alto para o compartimento estudado.

Pela análise da Tabela 1.2, verifica-se que as famílias com maior número de espécies foram: Fabaceae (20), Myrtaceae (10), Meliaceae (10), Lauraceae (9), Annonaceae (7) e Rubiaceae (7). Em outros trabalhos desenvolvidos em Florestas Estacionais Semidecíduais no estado de Minas Gerais (MEIRA-NETO e MARTINS, 2000; LOPES et al., 2002; PAULA et al., 2002), a família Fabaceae também foi a que mais se destacou em número de espécies.

Entre as espécies que ocorreram no maior número de parcelas destacam-se o *Protium spruceanum* (23 parcelas), *Protium heptaphyllum* (22 parcelas), *Eugenia acutata* (17 parcelas), *Maytenus gonoclada* (16 parcelas) e *Annona sylvatica* (15 parcelas). A ocorrência das espécies *Protium spruceanum* e *Protium heptaphyllum* em quase todas as parcelas permite inferir sobre sua heterogeneidade de ocupação do remanescente e os respectivos valores de densidade absoluta os classificam como as espécies mais ocorridas no inventário. Das espécies descritas na listagem, 36% aproximadamente ocorreram somente em uma parcela.

Tabela 1.2 – Relação das espécies amostradas em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG, em ordem alfabética de família, com as respectivas densidades absolutas em indivíduos por hectare (DA)

Família	Espécie	DA
Anacardiaceae	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	11
	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	19
Annonaceae	<i>Anaxagorea silvatica</i> R.E.Fr.	4
	<i>Annona dolabripetala</i> (Raddi) H.Rainer	19
	<i>Annona glabra</i> L.	12
	<i>Annona neosericea</i> H.Rainer	1
	<i>Annona sylvatica</i> A.St.-Hil.	21
	<i>Xylopia sericea</i> A.St.-Hil.	1
Apocynaceae	<i>Aspidosperma subincanum</i> Mart. ex A.DC.	5
Araliaceae	<i>Dendropanax cuneatus</i> (DC.) Decne. & Planch.	5
Asteraceae	<i>Dasyphyllum brasiliense</i> (Spreng.) Cabrera	2
Bignoniaceae	<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	1
Boraginaceae	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arrab. ex Steud.	1
Bursaceae	<i>Protium heptaphyllum</i> March	43
	<i>Protium spruceanum</i> (Benth.) Engl.	115
Caricaceae	<i>Jacaratia spinosa</i> (Aubl.) A.DC.	1
Celastraceae	<i>Maytenus gonoclada</i> Mart.	38
	<i>Salacia elliptica</i> (Mart. ex Schult.) G.Don	1
Clusiaceae	<i>Garcinia gardneriana</i> (Planch. & Triana) Zappi	1
Combretaceae	<i>Terminalia glabrescens</i> Mart.	22
Ebenaceae	<i>Diospyros hispida</i> A.DC.	1
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea guianensis</i> (Aubl.) Benth.	6
Euphorbiaceae	<i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng.	4
	<i>Sebastiania membranifolia</i> Müll.Arg.	3
Fabaceae	<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speng	16
	<i>Bauhinia forficata</i> Link	18
	<i>Centrolobium microchaete</i> (Mart. ex Benth.) H.C.Lima	1
	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	32
	<i>Dalbergia nigra</i> (Vell.) Allemão ex Benth.	2
	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	9
	<i>Inga marginata</i> Willd.	1
	<i>Inga striata</i> Benth.	5
	<i>Leucochloron incuriale</i> (Vell.) Barneby & J.W.Grimes	1
	<i>Lonchocarpus costatus</i> Benth.	1
	<i>Machaerium acutifolium</i> Vog.	1
	<i>Machaerium brasiliense</i> Vogel	18
	<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stellfeld	1
	<i>Machaerium villosum</i> Vogel	6
	<i>Ormosia arborea</i> (Vell.) Harms	4
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	6	
<i>Platymiscium floribundum</i> Vogel	3	
<i>Platypodium elegans</i> Vog.	4	

Família	Espécie	DA
Fabaceae	<i>Swartzia apetala</i> Raddi	4
	<i>Tachigali rubiginosa</i> (Mart. ex Tul.) Oliveira-Filho	3
Lauraceae	<i>Cryptocarya aschersoniana</i> Mez	16
	<i>Nectandra grandiflora</i> Nees	4
	<i>Nectandra lanceolata</i> Nees	6
	<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees	8
	<i>Nectandra puberula</i> (Schott) Nees	1
	<i>Ocotea aciphylla</i> (Nees) Mez	1
	<i>Ocotea corymbosa</i> (Meisn.) Mez	12
	<i>Ocotea odorifera</i> (Vell.) Rohwer	27
	<i>Ocotea oppositifolia</i> S.Yasuda	1
Lecythidaceae	<i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi) Kuntze	1
Lythraceae	<i>Lafoensia vandelliana</i> Cham. & Schltl.	2
Malvaceae	<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	20
	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	7
	<i>Pseudobombax longiflorum</i> (Mart. & Zucc.) A.Robyns	2
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	1
	<i>Guarea kunthiana</i> A.Juss.	2
	<i>Trichilia catigua</i> A.Juss.	8
	<i>Trichilia clausenii</i> C.DC.	14
	<i>Trichilia hirta</i> L.	3
	<i>Trichilia lepidota</i> Mart.	5
	<i>Trichilia pallens</i> C.DC.	34
	<i>Trichilia pallida</i> Sw.	3
<i>Trichilia silvatica</i> C.DC.	2	
Moraceae	<i>Ficus sphenophylla</i> Standl.	3
	<i>Sorocea bonplandii</i> (Baill.) W.C.Burger et al.	3
Myrsinaceae	<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	1
Myrtaceae	<i>Calyptranthes brasiliensis</i> Spreng.	3
	<i>Campomanesia velutina</i> (Cambess.) O.Berg	14
	<i>Eugenia acutata</i> Miq.	79
	<i>Eugenia cerasiflora</i> Miq.	1
	<i>Eugenia florida</i> DC.	8
	<i>Eugenia puniceifolia</i> (Kunth) DC.	2
	<i>Myrcia guianensis</i> (Aubl.) DC.	1
	<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	13
	<i>Pimenta pseudocaryophyllus</i> (Gomes) Landrum	2
	<i>Siphoneugena densiflora</i> O.Berg	18
Nyctaginaceae	<i>Guapira areolata</i> (Heimerl) Lundell	6
	<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz	1
	<i>Guapira salicifolia</i> (Heimerl) Lundell	2
Opiliaceae	<i>Agonandra brasiliensis</i> Miers ex Benth. & Hook.	2
Peraceae	<i>Pera glabrata</i> (Schott) Poepp. ex Baill.	1
Phyllanthaceae	<i>Hieronyma alchorneoides</i> Allemão	3
	<i>Margaritaria nobilis</i> L.f.	1

Família	Espécie	DA
Proteaceae	<i>Roupala montana</i> Aubl.	5
Rhamnaceae	<i>Rhamnidium elaeocarpum</i> Reissek	2
Rosaceae	<i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb	19
Rubiaceae	<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A.Rich. ex DC.	14
	<i>Chomelia pubescens</i> Cham. & Schltdl.	1
	<i>Coutarea hexandra</i> (Jacq.) K. Schum	37
	<i>Duroia cf. saccifera</i> (Mart. ex Schult. & Schult.f.) K.Schum.	2
	<i>Faramea hyacinthina</i> Mart.	53
	<i>Faramea latifolia</i> (Cham. & Schltdl.) DC.	1
	<i>Machaonia brasiliensis</i> (Hoffmanns. ex Humb.) Cham. & chltdl.	1
Rutaceae	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	4
Salicaceae	<i>Casearia arborea</i> (Rich.) Urb.	1
	<i>Casearia decandra</i> Jacq.	2
	<i>Casearia gossypiosperma</i> Briq.	4
	<i>Casearia obliqua</i> Spreng.	2
	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	3
	<i>Prockia crucis</i> P.Browne ex L.	2
Sapindaceae	<i>Allophylus racemosus</i> Sw.	4
	<i>Cupania emarginata</i> Cambess.	2
	<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	3
	<i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.	6
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum marginatum</i> (Hook. & Arn.) Radlk.	2
	<i>Pouteria gardneri</i> (Mart. & Miq.) Baehni	1
Siparunaceae	<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.	17
Urticaceae	<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	1
Verbenaceae	<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.	1
Vochysiaceae	<i>Callisthene major</i> Mart.	5

De acordo com a Tabela 1.3, as dez espécies que mais se destacaram em densidade relativa foram: *Protium spruceanum*, *Eugenia acutata*, *Faramea hyacinthina*, *Protium heptaphyllum*, *Maytenus gonoclada*, *Coutarea hexandra*, *Trichilia pallens*, *Copaifera langsdorffii*, *Ocotea odorifera* e *Terminalia glabrescens*.

Em relação às frequências relativas, as dez espécies de maiores valores em ordem decrescente foram: *Protium spruceanum*, *Protium heptaphyllum*, *Eugenia acutata*, *Maytenus gonoclada*, *Annona sylvatica*, *Faramea hyacinthina*, *Copaifera langsdorffii*, *Terminalia glabrescens*, *Ocotea odorifera* e *Ocotea corymbosa* (Tabela 1.3).

No que diz respeito à dominância relativa, em ordem decrescente, as dez espécies de maiores valores obtidos foram: *Copaifera langsdorffii*, *Protium spruceanum*, *Hymenaea courbaril*, *Protium heptaphyllum*, *Machaerium brasiliense*, *Terminalia glabrescens*,

Anadenathera peregrina, *Apeiba tibourbou*, *Eugenia acutata*, *Faramea hyacinthina* (Tabela 1.3).

Entre as espécies ranqueadas com maiores valores de importância e cobertura percentuais destacam-se: *Protium spruceanum*, *Copaifera langsdorffii*, *Eugenia acutata*, *Protium heptaphyllum*, *Faramea Hyacinthina*, *Maytenus gonoclada*, *Hymenaea courbaril*, *Terminalia glabrescens*, *Machaerium brasiliense* e *Trichilia pallens* (Tabela 1.3). A espécie *Protium spruceanum* apresenta-se em primeiro lugar devido à sua alta densidade absoluta (115) entre as amostradas, seguida da espécie *Copaifera langsdorffii* que apresentou alta ocupação do fragmento em relação às demais, com dominância relativa de 16,5%.

Analisando a Tabela 1.3 e a Figura 1.2, verificou-se que a estrutura espacial da comunidade estudada apresenta maior participação de espécies com distribuição uniforme, seguida de espécies com tendência ao agrupamento, e por último em menor proporção, as espécies agregadas. Não foram verificadas espécies com padrões aleatórios de distribuição espacial. Estes resultados mostram a superioridade do número espécies que se apresentam distribuídas mais heterogeneamente na comunidade vegetal, em relação àquelas com padrões mais agrupados, classificadas pelas distribuições agregada e com tendência à agregação. Em relação ao baixo número de espécies agregadas e à ausência de espécies com padrões aleatórios de distribuição espacial, estes resultados podem estar relacionados com a metodologia aplicada na amostragem, inferindo que estes talvez fossem contemplados caso a distribuição das unidades ou o esforço amostral fosse diferenciado, por exemplo, recorrendo-se a amostragem de uma única parcela de maiores dimensões.

Pela Figura 1.2, verificou-se que as espécies com $VI \geq 2$ apresentaram predominantemente padrão de distribuição espacial tendente ao agrupamento (56%), seguido pelos padrões agregado (31%) e uniforme (13%) respectivamente. As espécies com VI entre 1 e 2 também apresentaram predominância do padrão de distribuição espacial tendente ao agrupamento (84%) seguido dos padrões agregado e uniforme, que apresentaram a mesma proporção de 8%. Já para as espécies com $VI \leq 1$, predominou-se o padrão uniforme (68%) seguido dos padrões tendente ao agrupamento (27%) e agregado (5%).

Tabela 1.3 – Listagem de espécies amostradas em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG, ranqueadas em ordem decrescente de valores de importância (VI) e cobertura (VC), com suas respectivas densidades relativas (DR), frequências relativas (FR), dominâncias relativas (DoR), densidades absolutas por qualidade de fuste (DA_{Qfi}) e padrões de distribuição espacial aferido pelo índice de Mac Guinness

Espécie	DR	FR	DoR	VI	VC	DA_{Qf1}	DA_{Qf2}	DA_{Qf3}	Distrib. Espac.
<i>Protium spruceanum</i>	11,4	4,6	9,8	8,6	10,6	61	42	12	Tende agrup.
<i>Copaifera langsdorffii</i>	3,2	2,8	16,5	7,5	9,8	23	5	4	Tende agrup.
<i>Eugenia acutata</i>	7,8	3,4	3,0	4,7	5,4	33	38	8	Agregada
<i>Protium heptaphyllum</i>	4,2	4,2	4,9	4,4	4,6	30	9	4	Uniforme
<i>Faramea hyacinthina</i>	5,2	2,8	2,7	3,6	3,9	23	25	5	Agregada
<i>Maytenus gonoclada</i>	3,8	3,2	2,4	3,1	3,1	21	14	3	Tende agrup.
<i>Terminalia glabrescens</i>	2,2	2,8	3,4	2,8	2,8	9	10	3	Tende agrup.
<i>Hymenaea courbaril</i>	0,9	0,8	6,5	2,7	3,7	4	3	2	Agregada
<i>Machaerium brasiliense</i>	1,8	1,6	4,5	2,6	3,1	11	4	3	Tende agrup.
<i>Trichilia pallens</i>	3,4	2,0	2,0	2,4	2,7	17	10	7	Agregada
<i>Apeiba tibourbou</i>	2,0	1,8	3,0	2,3	2,5	10	7	3	Tende agrup.
<i>Coutarea hexandra</i>	3,7	2,0	1,0	2,2	2,3	21	7	9	Agregada
<i>Anadenanthera peregrina</i>	1,6	1,8	3,1	2,2	2,3	12	3	1	Tende agrup.
<i>Ocotea odorifera</i>	2,7	2,4	1,3	2,1	2,0	8	12	7	Tende agrup.
<i>Annona sylvatica</i>	2,1	3,0	1,2	2,1	1,6	8	7	6	Uniforme
<i>Tapirira guianensis</i>	1,9	1,8	2,4	2,0	2,1	7	6	6	Tende agrup.
<i>Annona dolabripetala</i>	1,9	1,6	2,0	1,8	1,9	9	6	4	Tende agrup.
<i>Prunus myrtifolia</i>	1,9	2,0	1,5	1,8	1,7	10	7	2	Tende agrup.
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	1,1	1,6	2,4	1,7	1,7	5	3	3	Tende agrup.
<i>Bauhinia forficata</i>	1,8	1,8	0,8	1,5	1,3	7	8	3	Tende agrup.
<i>Cryptocarya aschersoniana</i>	1,6	2,0	0,7	1,4	1,2	5	7	4	Tende agrup.
<i>Siphoneugena densiflora</i>	1,8	1,8	0,7	1,4	1,3	14	4	0	Tende agrup.
<i>Myrcia splendens</i>	1,3	1,8	1,2	1,4	1,2	5	6	2	Tende agrup.
<i>Ocotea corymbosa</i>	1,2	2,2	0,6	1,3	0,9	7	2	3	Uniforme
<i>Dilodendron bipinnatum</i>	0,6	0,8	2,5	1,3	1,5	2	2	2	Tende agrup.
<i>Trichilia claussenii</i>	1,4	2,0	0,3	1,2	0,9	7	5	2	Tende agrup.
<i>Annona glabra</i>	1,2	1,6	0,8	1,2	1,0	8	2	2	Tende agrup.
<i>Siparuna guianensis</i>	1,7	1,4	0,4	1,2	1,1	3	9	5	Agregada
<i>Alibertia edulis</i>	1,4	1,6	0,3	1,1	0,9	5	7	2	Tende agrup.
<i>Guazuma ulmifolia</i>	0,7	1,4	0,7	0,9	0,7	2	2	3	Uniforme
<i>Campomanesia velutina</i>	1,4	1,2	0,2	0,9	0,8	11	1	2	Agregada
<i>Machaerium villosum</i>	0,6	0,8	1,3	0,9	1,0	1	5	0	Tende agrup.
<i>Dendropanax cuneatus</i>	0,5	0,8	1,2	0,8	0,8	4	1	0	Tende agrup.
<i>Nectandra lanceolata</i>	0,6	1,2	0,7	0,8	0,6	2	2	2	Uniforme
<i>Aspidosperma subincanum</i>	0,5	1,0	0,9	0,8	0,7	0	3	2	Uniforme
<i>Nectandra oppositifolia</i>	0,8	1,0	0,6	0,8	0,7	6	1	1	Tende agrup.
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	0,4	0,6	1,1	0,7	0,7	3	0	1	Tende agrup.
<i>Trichilia catigua</i>	0,8	1,0	0,3	0,7	0,5	3	5	0	Tende agrup.

Espécie	DR	FR	DoR	VI	VC	DA _{Qf1}	DA _{Qf2}	DA _{Qf3}	Distrib. Espac.
<i>Sloanea guianensis</i>	0,6	1,2	0,2	0,7	0,4	3	3	0	Uniforme
<i>Guapira areolata</i>	0,6	1,0	0,3	0,6	0,4	0	2	4	Tende agrup.
<i>Pseudobombax longiflorum</i>	0,2	0,4	1,2	0,6	0,7	1	1	0	Uniforme
<i>Tachigali rubiginosa</i>	0,3	0,6	0,9	0,6	0,6	2	1	0	Uniforme
<i>Eugenia florida</i>	0,8	0,8	0,2	0,6	0,5	4	1	3	Tende agrup.
<i>Inga striata</i>	0,5	0,8	0,4	0,6	0,4	4	1	0	Tende agrup.
<i>Ormosia arborea</i>	0,4	0,6	0,7	0,5	0,5	2	1	1	Tende agrup.
<i>Callisthene major</i>	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	4	1	0	Tende agrup.
<i>Roupala montana</i>	0,5	1,0	0,1	0,5	0,3	4	1	0	Uniforme
<i>Sebastiania brasiliensis</i>	0,4	0,8	0,4	0,5	0,4	3	1	0	Uniforme
<i>Nectandra grandiflora</i>	0,4	0,8	0,3	0,5	0,3	1	2	1	Uniforme
<i>Hieronyma alchorneoides</i>	0,3	0,6	0,5	0,5	0,4	2	1	0	Uniforme
<i>Allophylus racemosus</i>	0,4	0,8	0,2	0,4	0,3	1	0	3	Uniforme
<i>Trichilia lepidota</i>	0,5	0,2	0,6	0,4	0,5	0	4	1	Agregada
<i>Swartzia apetala</i>	0,4	0,8	0,1	0,4	0,2	3	1	0	Uniforme
<i>Platypodium elegans</i>	0,4	0,8	0,1	0,4	0,2	1	2	1	Uniforme
<i>Peltophorum dubium</i>	0,6	0,4	0,2	0,4	0,4	3	1	2	Agregada
<i>Casearia sylvestris</i>	0,3	0,6	0,3	0,4	0,3	1	1	1	Uniforme
<i>Cupania vernalis</i>	0,3	0,6	0,2	0,4	0,3	3	0	0	Uniforme
<i>Anaxagorea silvatica</i>	0,4	0,6	0,1	0,4	0,2	3	0	1	Tende agrup.
<i>Trichilia pallida</i>	0,3	0,6	0,1	0,3	0,2	1	1	1	Uniforme
<i>Ficus sphenophylla</i>	0,3	0,6	0,1	0,3	0,2	2	0	1	Uniforme
<i>Casearia gossypiosperma</i>	0,4	0,4	0,1	0,3	0,3	4	0	0	Tende agrup.
<i>Sebastiania membranifolia</i>	0,3	0,4	0,2	0,3	0,3	0	1	2	Tende agrup.
<i>Calyptanthes brasiliensis</i>	0,3	0,4	0,2	0,3	0,2	1	2	0	Tende agrup.
<i>Duroia cf.</i>	0,2	0,4	0,2	0,3	0,2	2	0	0	Uniforme
<i>Platymiscium floribundum</i>	0,3	0,4	0,1	0,2	0,2	0	3	0	Tende agrup.
<i>Chrysophyllum marginatum</i>	0,2	0,4	0,1	0,2	0,2	0	2	0	Uniforme
<i>Sorocea bonplandii</i>	0,3	0,4	0,0	0,2	0,2	3	0	0	Tende agrup.
<i>Lafoensia vandelliana</i>	0,2	0,4	0,1	0,2	0,1	0	1	1	Uniforme
<i>Machaerium hirtum</i>	0,1	0,2	0,4	0,2	0,2	0	1	0	Uniforme
<i>Ocotea oppositifolia</i>	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	1	0	0	Uniforme
<i>Casearia obliqua</i>	0,2	0,4	0,0	0,2	0,1	0	0	2	Uniforme
<i>Rhamnidium elaeocarpum</i>	0,2	0,4	0,0	0,2	0,1	0	1	1	Uniforme
<i>Trichilia silvatica</i>	0,2	0,4	0,0	0,2	0,1	0	2	0	Uniforme
<i>Guapira salicifolia</i>	0,2	0,4	0,0	0,2	0,1	2	0	0	Uniforme
<i>Guarea kunthiana</i>	0,2	0,4	0,0	0,2	0,1	2	0	0	Uniforme
<i>Casearia decandra</i>	0,2	0,4	0,0	0,2	0,1	2	0	0	Uniforme
<i>Trichilia hirta</i>	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	2	1	0	Agregada
<i>Annona neosericea</i>	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	1	0	0	Uniforme
<i>Salacia elliptica</i>	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	1	0	0	Uniforme
<i>Dasyphyllum brasiliense</i>	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	1	0	1	Tende agrup.
<i>Diospyros hispida</i>	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0	1	0	Uniforme

Espécie	DR	FR	DoR	VI	VC	DA _{Q1}	DA _{Q2}	DA _{Q3}	Distrib. Espac.
<i>Centrolobium microchaete</i>	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	1	0	0	Uniforme
<i>Agonandra brasiliensis</i>	0,2	0,2	0,0	0,1	0,1	0	2	0	Tende agrup.
<i>Cupania emarginata</i>	0,2	0,2	0,0	0,1	0,1	1	0	1	Tende agrup.
<i>Dalbergia nigra</i>	0,2	0,2	0,0	0,1	0,1	2	0	0	Tende agrup.
<i>Xylopia sericea</i>	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0	1	0	Uniforme
<i>Pimenta pseudocaryophyllus</i>	0,2	0,2	0,0	0,1	0,1	1	0	1	Tende agrup.
<i>Prockia crucis</i>	0,2	0,2	0,0	0,1	0,1	2	0	0	Tende agrup.
<i>Eugenia puniceifolia</i>	0,2	0,2	0,0	0,1	0,1	1	1	0	Tende agrup.
<i>Lonchocarpus costatus</i>	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	1	0	0	Uniforme
<i>Faramea latifolia</i>	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0	0	1	Uniforme
<i>Cecropia pachystachya</i>	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	1	0	0	Uniforme
<i>Jacaratia spinosa</i>	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	1	0	0	Uniforme
<i>Ocotea aciphylla</i>	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0	1	0	Uniforme
<i>Inga marginata</i>	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0	0	1	Uniforme
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0	0	1	Uniforme
<i>Pouteria gardneri</i>	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0	1	0	Uniforme
<i>Garcinia gardneriana</i>	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	1	0	0	Uniforme
<i>Leucochloron incuriale</i>	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	1	0	0	Uniforme
<i>Machaonia brasiliensis</i>	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0	1	0	Uniforme
<i>Eugenia cerasiflora</i>	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0	1	0	Uniforme
<i>Cordia trichotoma</i>	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0	0	1	Uniforme
<i>Chomelia pubescens</i>	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0	1	0	Uniforme
<i>Nectandra puberula</i>	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0	1	0	Uniforme
<i>Casearia arborea</i>	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	1	0	0	Uniforme
<i>Pera glabrata</i>	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	1	0	0	Uniforme
<i>Cariniana estrellensis</i>	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	1	0	0	Uniforme
<i>Myrsine umbellata</i>	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	1	0	0	Uniforme
<i>Machaerium acutifolium</i>	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0	1	0	Uniforme
<i>Myrcia guianensis</i>	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	1	0	0	Uniforme
<i>Guapira opposita</i>	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0	1	0	Uniforme
<i>Citharexylum myrianthum</i>	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0	0	1	Uniforme
<i>Cedrela fissilis</i>	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0	0	1	Uniforme
<i>Margaritaria nobilis</i>	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0	0	1	Uniforme

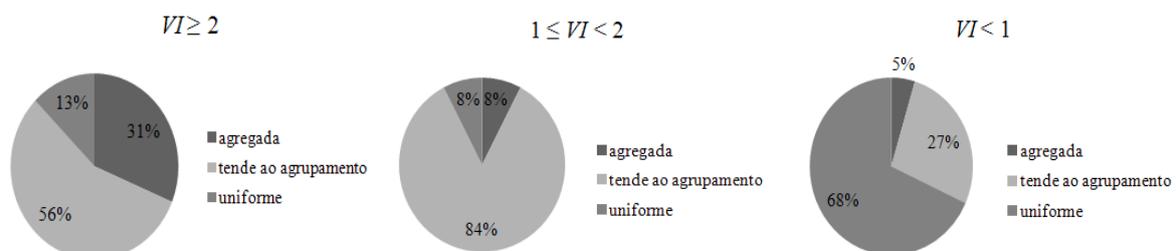


Figura 1.2 - Proporção dos diferentes padrões de distribuição espacial para os grupos de espécies com $VI \geq 2$; $1 \leq VI < 2$ e $VI < 1$, encontradas em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual, Curvelo, MG.

Para a estrutura vertical, o remanescente foi dividido em três classes de alturas baseadas na altura média dos indivíduos e no respectivo desvio padrão, sendo que na Tabela 1.4 estão descritas as espécies em ordem decrescente de valores de importância e cobertura, com os respectivos números de indivíduos em cada estrato e valores de posição sociológica. O estrato inferior foi representado pelos indivíduos que possuem altura total inferior a 5,81 m, o estrato superior compreende os indivíduos cujas alturas totais excedem 12,06 m, e o estrato médio foi representado pelos indivíduos com altura total intermediária aos estratos inferior e superior:

- Estrato inferior: $Ht < 5,81$ m;
- Estrato médio: $5,81 \text{ m} \leq Ht \leq 12,06$ m;
- Estrato superior: $Ht > 12,06$ m.

Entre as dez espécies de maiores valores para posição sociológica apresentadas na Tabela 1.4, destacam-se *Protium spruceanum*, *Eugenia acutata*, *Faramea hyacinthina* e *Protium heptaphyllum*, que ficaram ranqueadas entre as cinco espécies de maior valor de importância e cobertura percentuais. Os valores de posição sociológica apresentados por estas espécies podem estar associados à alta densidade de indivíduos distribuídos nos estratos formados pela estrutura vertical.

Tabela 1.4 – Listagem das espécies amostradas em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG, ranqueadas em ordem decrescente de valores de importância e cobertura percentuais, com os respectivos números de indivíduos em cada estrato de altura e valores absolutos e relativos de posição sociológica (*PSAi* e *PSRi*)

Espécie	Estrato			<i>PSAi</i>	<i>PSRi</i>
	Inferior	Médio	Superior		
<i>Protium spruceanum</i>	9	93	13	112,3	11,4
<i>Copaifera langsdorffii</i>	2	8	22	31,2	3,2
<i>Eugenia acutata</i>	7	69	3	77,1	7,8
<i>Protium heptaphyllum</i>	1	31	11	42,0	4,2
<i>Faramea hyacinthina</i>	10	38	5	51,8	5,2
<i>Maytenus gonoclada</i>	7	28	3	37,1	3,8
<i>Terminalia glabrescens</i>	1	16	5	21,5	2,2
<i>Hymenaea courbaril</i>		4	5	8,8	0,9
<i>Machaerium brasiliense</i>		9	9	17,6	1,8
<i>Trichilia pallens</i>	6	26	2	33,2	3,4
<i>Apeiba tibourbou</i>	2	13	5	19,5	2,0
<i>Coutarea hexandra</i>	10	26	1	36,1	3,7
<i>Anadenanthera peregrina</i>		8	8	15,6	1,6

Espécie	Estrato			PSAi	PSRi
	Inferior	Médio	Superior		
<i>Ocotea odorifera</i>	6	19	2	26,4	2,7
<i>Annona sylvatica</i>	1	18	2	20,5	2,1
<i>Tapirira guianensis</i>	1	12	6	18,6	1,9
<i>Annona dolabripetala</i>	2	14	3	18,6	1,9
<i>Prunus myrtifolia</i>	3	13	3	18,6	1,9
<i>Myracrodruon urundeuva</i>		6	5	10,7	1,1
<i>Bauhinia forficata</i>	1	15	2	17,6	1,8
<i>Cryptocarya aschersoniana</i>	1	12	3	15,6	1,6
<i>Siphoneugena densiflora</i>	1	16	1	17,6	1,8
<i>Myrcia splendens</i>	1	9	3	12,7	1,3
<i>Ocotea corymbosa</i>	1	10	1	11,7	1,2
<i>Dilodendron bipinnatum</i>		4	2	5,9	0,6
<i>Trichilia claussenii</i>	1	12	1	13,7	1,4
<i>Annona glabra</i>		10	2	11,7	1,2
<i>Siparuna guianensis</i>	7	10		16,6	1,7
<i>Alibertia edulis</i>	1	13		13,7	1,4
<i>Guazuma ulmifolia</i>		7		6,8	0,7
<i>Campomanesia velutina</i>	4	10		13,7	1,4
<i>Machaerium villosum</i>		1	5	5,9	0,6
<i>Dendropanax cuneatus</i>		3	2	4,9	0,5
<i>Nectandra lanceolata</i>	1	3	2	5,9	0,6
<i>Aspidosperma subincanum</i>	1	2	2	4,9	0,5
<i>Nectandra oppositifolia</i>		7	1	7,8	0,8
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>		3	1	3,9	0,4
<i>Trichilia catigua</i>	1	7		7,8	0,8
<i>Sloanea guianensis</i>		6		5,9	0,6
<i>Guapira areolata</i>	1	5		5,9	0,6
<i>Pseudobombax longiflorum</i>		1	1	2,0	0,2
<i>Tachigali rubiginosa</i>		2	1	2,9	0,3
<i>Eugenia florida</i>	2	5	1	7,8	0,8
<i>Inga striata</i>		1	4	4,9	0,5
<i>Ormosia arborea</i>		2	2	3,9	0,4
<i>Callisthene major</i>	2	2	1	4,9	0,5
<i>Roupala montana</i>		5		4,9	0,5
<i>Sebastiania brasiliensis</i>		2	2	3,9	0,4
<i>Nectandra grandiflora</i>	1	3		3,9	0,4
<i>Hieronyma alchorneoides</i>		1	2	2,9	0,3
<i>Allophylus racemosus</i>	1	3		3,9	0,4
<i>Trichilia lepidota</i>		4	1	4,9	0,5
<i>Swartzia apetala</i>	1	3		3,9	0,4
<i>Platypodium elegans</i>	1	3		3,9	0,4
<i>Peltophorum dubium</i>		5	1	5,9	0,6

Espécie	Estrato			PSAi	PSRi
	Inferior	Médio	Superior		
<i>Casearia sylvestris</i>		3		2,9	0,3
<i>Cupania vernalis</i>		3		2,9	0,3
<i>Anaxagorea silvatica</i>	2	2		3,9	0,4
<i>Trichilia pallida</i>	1	2		2,9	0,3
<i>Ficus sphenophylla</i>		3		2,9	0,3
<i>Casearia gossypiosperma</i>		4		3,9	0,4
<i>Sebastiania membranifolia</i>	1	2		2,9	0,3
<i>Calyptranthes brasiliensis</i>	1	2		2,9	0,3
<i>Duroia cf.</i>		1	1	2,0	0,2
<i>Platymiscium floribundum</i>	1	2		2,9	0,3
<i>Chrysophyllum marginatum</i>	1	1		2,0	0,2
<i>Sorocea bonplandii</i>	1	2		2,9	0,3
<i>Lafoensia vandelliana</i>		2		2,0	0,2
<i>Machaerium hirtum</i>			1	1,0	0,1
<i>Ocotea oppositifolia</i>			1	1,0	0,1
<i>Casearia obliqua</i>		2		2,0	0,2
<i>Rhamnidium elaeocarpum</i>	2			2,0	0,2
<i>Trichilia silvatica</i>		2		2,0	0,2
<i>Guapira salicifolia</i>		2		2,0	0,2
<i>Guarea kunthiana</i>		2		2,0	0,2
<i>Casearia decandra</i>		2		2,0	0,2
<i>Trichilia hirta</i>		3		2,9	0,3
<i>Annona neosericea</i>			1	1,0	0,1
<i>Salacia elliptica</i>			1	1,0	0,1
<i>Dasyphyllum brasiliense</i>		2		2,0	0,2
<i>Diospyros hispida</i>		1		1,0	0,1
<i>Centrolobium microchaete</i>			1	1,0	0,1
<i>Agonandra brasiliensis</i>		2		2,0	0,2
<i>Cupania emarginata</i>		2		2,0	0,2
<i>Dalbergia nigra</i>	1	1		2,0	0,2
<i>Xylopia sericea</i>		1		1,0	0,1
<i>Pimenta pseudocaryophyllus</i>		2		2,0	0,2
<i>Prockia crucis</i>		2		2,0	0,2
<i>Eugenia puniceifolia</i>		2		2,0	0,2
<i>Lonchocarpus costatus</i>		1		1,0	0,1
<i>Faramea latifolia</i>		1		1,0	0,1
<i>Cecropia pachystachya</i>		1		1,0	0,1
<i>Jacaratia spinosa</i>		1		1,0	0,1
<i>Ocotea aciphylla</i>		1		1,0	0,1
<i>Inga marginata</i>		1		1,0	0,1
<i>Handroanthus impetiginosus</i>		1		1,0	0,1
<i>Pouteria gardneri</i>		1		1,0	0,1

Espécie	Estrato			PSAi	PSRi
	Inferior	Médio	Superior		
<i>Garcinia gardneriana</i>		1		1,0	0,1
<i>Leucochloron incuriale</i>		1		1,0	0,1
<i>Machaonia brasiliensis</i>	1			1,0	0,1
<i>Eugenia cerasiflora</i>		1		1,0	0,1
<i>Cordia trichotoma</i>		1		1,0	0,1
<i>Chomelia pubescens</i>	1			1,0	0,1
<i>Nectandra puberula</i>		1		1,0	0,1
<i>Casearia arborea</i>		1		1,0	0,1
<i>Pera glabrata</i>	1			1,0	0,1
<i>Cariniana estrellensis</i>		1		1,0	0,1
<i>Myrsine umbellata</i>		1		1,0	0,1
<i>Machaerium acutifolium</i>	1			1,0	0,1
<i>Myrcia guianensis</i>		1		1,0	0,1
<i>Guapira opposita</i>		1		1,0	0,1
<i>Citharexylum myrianthum</i>		1		1,0	0,1
<i>Cedrela fissilis</i>	1			1,0	0,1
<i>Margaritaria nobilis</i>		1		1,0	0,1
Total	114	735	163	988,1	100

estrato inferior: altura total < 5,81 m; estrato médio: 5,81 ≥ altura total ≤ 12,06 m; estrato superior: altura total > 12,06 m.

Este capítulo reuniu algumas informações sobre o remanescente estudado, abordando parte da composição florística e da estrutura fitossociológica de seu componente arbóreo-arbustivo, que pudessem mostrar de maneira simplificada, a composição e estrutura do remanescente florestal, e introduzir o capítulo seguinte, ponto chave deste trabalho, com informações descritivas de algumas das espécies florestais ocorrentes e da comunidade em geral.

1.4. CONCLUSÕES

A área estudada apresenta densidade absoluta de 1105 indivíduos arbóreo-arbustivos vivos por hectare, sendo que foram identificados 1012 indivíduos distribuídos em 114 espécies, 91 gêneros e 41 famílias.

Considerando os critérios adotados, o índice de diversidade calculado para a área de estudo (3,91 nats/ind.), foi intermediário entre os valores verificados em outros trabalhos realizados em fragmentos de mesma fisionomia no estado de Minas Gerais.

As espécies *Protium spruceanum*, *Copaifera langsdorffii*, *Eugenia acutata*, *Protium heptaphyllum* e *Faramea hyacinthina* destacaram-se em relação aos valores de importância e cobertura percentuais para a estrutura horizontal.

As espécies avaliadas apresentaram predominantemente padrão de distribuição espacial uniforme, seguido pelos padrões tendente à agregação e agregado.

Para a estrutura vertical, das dez espécies de maiores valores para a posição sociológica, quatro delas (*Protium spruceanum*, *Eugenia acutata*, *Faramea hyacinthina* e *Protium heptaphyllum*) ficaram ranqueadas entre as cinco espécies de maiores valores de importância e cobertura.

1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, P.; VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P., VITAL, E. **Floresta para sempre: um manual para a produção de madeira na Amazônia**. Belém: IMAZON, 1998. 137p.

ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP II. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for orders and families of flowering plants: APG III. **Botanic Journal Linnean Society**, New York, NY, v.161, p. 105-121, 2009.

ARAÚJO, M. G.; HARIDASAN, M. Estrutura fitossociológica de duas matas mesófilas semidecíduas, em Uberlândia, Triângulo Mineiro. **Naturalia**, Rio Claro, SP, [S.l.], v. 22, p. 115-129, 1997.

BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA. **Normais climatológicas de 1961 – 1990**. Brasília; Secretaria nacional de Irrigação, Departamento nacional de Meteorologia, 1992. 84p.

BROWER, J. E.; ZAR, J.H. **Field and laboratory methods for general ecology**. Dubuque: W. M. C. Brown, 1984. 226p.

COSTA, M. R. C.; HERMANN, G.; MARTINS, C. M.; LINS, L. V.; LAMAS, I. R. **Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para a conservação**. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 1998. 92p.

FELFILI, J. M.; MENDONÇA, R.; WALTER, B. M. T.; SILVA JÚNIOR, M. C.; NÓBREGA, M. G. G.; FAGG, C. W.; SEVILHA, A. C.; SILVA, M. A. Flora fanerogâmica das matas de galeria e ciliares do Brasil Central. In: RIBEIRO, J. F.; FONSECA, C. E. L.; SOUZA-SILVA, J. C. **Cerrado: caracterização e recuperação de matas de galeria**. Planaltina, DF: [s.n.], 2001a. v. 1, p. 195-209.

LOPES, W. P.; PAULA, A.; SEVILHA, A. C.; SILVA, A. F. Composição da flora arbórea de um trecho de floresta estacional no Jardim Botânico da Universidade Federal de Viçosa (face sudoeste), Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 3, p. 339-347, 2002.

MACHADO, E. L. M.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. de; CARVALHO, W. A. C.; SOUZA, J. S.; BORÉM, R. A. T.; BOTEZELLI, L. Análise comparativa da estrutura e flora do compartimento arbóreo-arbustivo de um remanescente florestal na fazenda Beira Lago, Lavras, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 4, p. 499-516, 2004.

MARANGON, L. C.; SOARES, J. J.; FELICIANO, A. L. P. Florística arbórea da Mata da Pedreira, município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.27, n.2, p.207-215, 2003.

MARISCAL-FLORES, E. J. **Potencial produtivo e alternativas de manejo sustentável de um fragmento de Mata Atlântica secundária, município de Viçosa, Minas Gerais**. 1993. 165 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

McGHINESS, W. C. The relationships between frequency index and abundance as applied to plant populations in a semi-arid region. **Ecology**, New York, NY, v.15, p.263-382, 1934.

MEIRA-NETO, J. A. A.; MARTINS, F. R. Estrutura da Mata da Silvicultura, uma floresta estacional semidecidual montana no município de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 21, n. 2, p.151-160, 2000.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: J. Willey, 1974. 547 p.

NASICMENTO, A. R. T.; LONGHI, S. J.; BRENA, D. A. Estrutura e padrões de distribuição espacial de espécies arbóreas em uma amostra de Floresta Ombrófila Mista em Nova Prata, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v.11, n.1, p. 105-119, 2001.

PAULA, A.; SILVA, A. F.; SOUZA, A. L.; SANTOS, F. A. M. Alterações florísticas ocorridas num período de quatorze anos na vegetação arbórea de uma floresta estacional semidecidual em Viçosa - MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 6, p. 743-749, 2002.

PINTO, S. I. C.; MARTINS, S. V.; SILVA, A. G.; BARROS, N. F.; DIAS, H. C. T.; SCOSS, L. M. Estrutura do componente arbustivo-arbóreo de dois estádios sucessionais de floresta estacional semidecidual na Reserva Florestal Mata do Paraíso, Viçosa, MG, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 823-833, 2007.

SILVA JÚNIOR, M. C. Comparação entre matas de galeria no Distrito Federal e a efetividade do código florestal na proteção de sua diversidade arbórea. **Acta Botânica Brasílica**, Brasília, DF, v. 15, n. 1, p. 111-118, 2001.

SOUZA, J. S.; ESPIRITO-SANTO, F. D. B.; FONTES, M. A. L. Análise das variações florísticas e estruturais da comunidade arbórea de um fragmento de floresta semidecídua às margens do rio Capivari, Lavras - MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 185-206, 2003.

STRAHLER, A.; STRAHLER, A. N. **Physical geography: science and systems of the human environment**. 2ª Ed. New York: John Wiley e Sons, Inc., 2002. 748 p.

VAN DEN BERG, E.; OLIVEIRA FILHO, A. T. Composição florística e fitossociologia de uma Floresta Estacional Semidecidual Montana em Itutinga, MG, e comparação com outras áreas. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, SP, v. 22, n. 3, p. 231-253, 2000.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. São Paulo: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1991. 123 p

VELOSO, H.P. 1992. Sistema fitogeográfico. In: **Manual técnico da vegetação brasileira**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, p. 9-38.

CAPÍTULO 2

ESTIMATIVA DO VOLUME DE POVOAMENTO POR MODELOS DE REGRESSÃO E POR MEIO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS EM FLORESTAS NATURAIS

2. INTRODUÇÃO

O Estado de Minas Gerais possui cerca de 50% do seu território localizado no domínio da Mata Atlântica, incluindo as fisionomias de Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional Decidual e Floresta Estacional Semidecidual (Brasil, 2002), sendo que no ano de 2006, as Florestas Estacionais Semidecíduais em particular, ocupavam 8,9% do total da cobertura vegetal nativa presente no estado (SCOLFORO et al., 2006).

O manejo florestal corrobora com práticas e técnicas silviculturais sustentáveis, que embasadas por informações quantitativas e qualitativas presentes no inventário florestal, busca a utilização do recurso de forma racional e sem intervir na conservação do ambiente. O adequado monitoramento dos povoamentos florestais gera informações relevantes para o entendimento dinâmico do potencial produtivo e auxilia o manejador nas tomadas de decisão.

Na maioria dos levantamentos florestais, o volume das árvores e de todo o povoamento, além de serem exigências legais, fornecem informações sobre o estoque madeireiro e dá noção do potencial produtivo das florestas, sendo o volume uma das formas para analisar a produtividade dos povoamentos (THOMAS et al., 2006). A precisão das estimativas dos volumes individuais das árvores e da produtividade das florestas constitui um pré-requisito importante para o estabelecimento de ações de manejo (REZENDE et al., 2006), e usualmente estas estimativas são obtidas por meio de equações volumétricas ou de afileamento (OLIVEIRA et al., 2009).

A aplicação de modelos volumétricos representa uma das principais ferramentas para estimação da produção madeireira de uma floresta, sendo o modelo de Schumacher e Hall (1933) um dos mais difundidos no setor, devido a propriedades estatísticas que minimizam tendenciosidades nas estimativas (LEITE e ANDRADE, 2002; CAMPOS e LEITE, 2009). O ajuste deste modelo volumétrico utiliza as variáveis diâmetro e altura como preditoras do volume da árvore e na maioria das vezes é realizado pelo Método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MMQO), com dados linearizados por meio de transformação logarítmica (SILVA

et al., 2009). Ainda existe a possibilidade de efetuar ajustes não lineares deste modelo, utilizando diferentes algoritmos ou métodos iterativos, na busca do melhor ajuste aos dados.

Além dos volumes individuais, outra estimativa de volume importante para ações de manejo são as estimativas do volume de povoamento, que podem ser obtidas por meio do somatório dos volumes individuais das árvores, ou aferidos diretamente utilizando-se como variáveis preditoras, a área basal por unidade de área ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$) e a média das alturas totais ou dominantes das árvores. Alguns autores como Spurr (1952), Ung e Quellet (1991) e Figueiredo Filho (1983), testando modelos lineares e não lineares, verificaram forte relação do volume de povoamento com a área basal e a altura média das árvores, determinando alguns modelos com ajustes melhores. Segundo Carron et al. (1956), uma vez que o volume de um povoamento é a soma dos volumes de árvores individuais, ele está relacionado com a soma das áreas basais dos indivíduos, e expressões da sua altura média e forma. Estes modelos são de grande aplicabilidade por fornecerem uma noção da biomassa lenhosa aérea das florestas, além de apresentarem praticidade na obtenção das variáveis independentes, como no caso da área basal, que pode ser obtida mais rapidamente e com precisão aplicando-se métodos de amostragem alternativos como o de Bitterlich, quando comparado aos métodos tradicionais de amostragem (BUCKMAN, 1961; COLE, 1971; ALEMDAG, 1976; FARIAS et al., 2002). Oliveira et al. (2005) também encontraram resultados satisfatórios utilizando as mesmas variáveis para estimar o volume de povoamento para fragmentos de florestas naturais no estado de Minas Gerais. As estimativas do volume de povoamento ainda podem ser usadas para obter de forma direta a quantidade de carbono estocado na parte lenhosa aérea das florestas.

Segundo Chichorro (2000), outro aspecto de fundamental importância nos levantamentos florestais e que tem relação direta com o volume comercial madeireiro é a avaliação da qualidade e sanidade dos fustes das árvores, especialmente daquelas de interesse econômico. Loetsch et al. (1973) afirmaram que um povoamento florestal maduro raramente é completamente estocado com árvores sadias e sem defeitos, principalmente em se tratando de florestas tropicais naturais, onde normalmente é predominante a proporção de árvores afetadas por defeitos estruturais e apodrecimento interno dos fustes, que podem alterar a forma natural e o volume do indivíduo.

Uma alternativa que vem sendo utilizada para estimar o volume de árvores é a aplicação de redes neurais artificiais (RNAs), que são sistemas paralelos distribuídos compostos por unidades de processamento simples (neurônios artificiais) que computam determinadas funções matemáticas (BRAGA et al., 2007). Utilizando um conjunto de

exemplos previamente conhecido, as RNAs são capazes de generalizar o conhecimento assimilado para um conjunto de dados desconhecidos, além de extrair características não explícitas de um conjunto de informações que lhes são fornecidas como exemplos (KOVÁCS, 1996). Segundo Scrinzi et al. (2007), a importância das redes neurais artificiais está compreendida em sua habilidade de identificar e aprender padrões muito complexos e correlatos em um banco de dados de exemplos representativos de um determinado evento.

A aplicação deste sistema computacional no manejo de florestas aprimorando técnicas de biometria e inventário florestal permite maior acurácia na estimação da produção, dando maior suporte à tomada de decisão (CASTELLANOS et al., 2007). Alguns autores (DIAMANTOPOULOU, 2005; SILVA et al., 2009; GORGENS et al., 2009) apontaram a metodologia de RNAs como uma ferramenta eficiente e recomendada para auxiliar na quantificação volumétrica de florestas plantadas, no entanto, a literatura ainda é escassa quanto a utilização desta técnica para estimar o volume individual de árvores, bem como o volume de povoamento de florestas naturais, o que justifica a realização de pesquisas aplicadas.

Este capítulo objetivou descrever a estrutura diamétrica do remanescente, determinar o volume de povoamento por meio de modelos volumétricos e por redes neurais artificiais, além de verificar a influência da associação da classe de qualidade de fuste às variáveis contínuas na acurácia das estimativas do volume do povoamento obtidas por redes neurais artificiais.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1. Dados

Neste capítulo, as análises foram fundamentadas no mesmo banco de dados descrito na metodologia do capítulo 1, porém foram considerados todos os fustes dos indivíduos inclusos na amostragem (identificados e não identificados até o nível específico) com diâmetro a 1,30 m do solo (*DAP*) igual ou superior a 5 cm, e suas variáveis dendrométricas foram utilizadas para obter as estimativas de área basal por unidade de área ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$) e as alturas totais e de fuste médias, medidas em metros.

2.2.2. Cálculo do erro de amostragem

Representando uma exigência legal na maioria dos levantamentos florestais, o esforço amostral foi verificado pela determinação do tamanho da amostra necessária (n) e cálculo do erro de amostragem e (%). Utilizando os volumes totais das parcelas obtidos pela equação do

CETEC (1995), descrita mais adiante, calculou-se o tamanho da amostra necessária (n) em número de parcelas, por meio da seguinte expressão (LOETSCH e HALLER, 1964):

$$n = \frac{t^2 CV^2}{E\% ^2 + \frac{t^2 CV^2}{N}}$$

em que: n = tamanho da amostra em número de unidades amostrais; t = valor tabelado da distribuição t de Student, (α %, $n-1$ gl); CV = coeficiente de variação, em %; $E\%$ = erro de amostragem admissível, em %; N = número de unidades de amostra que cabem na área.

Neste trabalho foi adotado um erro de amostragem admissível ($E\%$) de 15% e o nível de probabilidade de 90%, conforme Portaria do IEF Nº 191, de 16/09/2005, que dispõe sobre as normas de controle da intervenção em vegetação nativa e plantada no Estado de Minas Gerais. O erro de amostragem e (%) foi obtido pela seguinte expressão (LOETSCH e HALLER, 1964):

$$e(\%) = \pm \frac{S\bar{x} * t}{\bar{x}} * 100$$

em que: $S\bar{x}$ = erro-padrão da média; t = valor tabelado de t (10% e $n-1$ gl); e \bar{x} = média dos volumes por hectare das parcelas amostradas.

2.2.3. Distribuição diamétrica

A estrutura diamétrica do fragmento foi descrita por um histograma de frequências absolutas dos indivíduos por classe de diâmetro a 1,30 m da base do fuste (DAP), e o coeficiente ‘ q ’ de De Liocourt foi calculado pela relação entre o número de indivíduos de uma determinada classe diamétrica pelo número de indivíduos da classe anterior. Para a construção do histograma, considerou-se a frequência dos diâmetros em classes de amplitude de 5 cm, segundo Machado et al. (1998), Pulz (1998), Pizatto (1999), Durigan (1999).

2.2.4. Obtenção dos volumes observados

De acordo com CETEC (1995), para árvores individuais de Floresta Estacional Semidecidual no estado de Minas Gerais, pode-se estimar o volume total com casca e o volume de fuste com casca por meio das seguintes equações ajustadas pelo modelo não linear de Schumacher e Hall:

$$Vt_{cc} = 0,000074230 * DAP^{1,707348} * Ht^{1,16873}, \quad R^2 = 97,3\%$$

$$Vf_{cc} = 0,000038857 * DAP^{1,70764} * Hf^{1,32032}, \quad R^2 = 98,9\%$$

em que: Vt_{cc} = Volume total com casca em m^3 ; DAP = Diâmetro com casca medido a 1,30 m do solo, em cm; Ht = altura total, em m; Vf_{cc} = Volume do fuste com casca, em m^3 ; Hf = altura do fuste, em m; R^2 = Coeficiente de determinação.

Devido à impossibilidade legal de cortar árvores para realização da cubagem rigorosa e a impraticabilidade de cubar indivíduos em pé com auxílio de instrumentos nestes ambientes, os volumes totais com casca (Vt_{cc}) e os volumes de fuste com casca (Vf_{cc}) obtidos pelas equações descritas acima, foram tomados como padrões (“observados”) e utilizados para se obter os volumes de povoamento observados por parcela, por meio de seu somatório.

2.2.5. Obtenção dos volumes estimados por ajustes de modelos

Os modelos utilizados na estimação dos volumes totais e de fuste por unidade de área ($m^3.ha^{-1}$) por parcela, juntamente com os respectivos autores, encontram-se descritos na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Modelos volumétricos testados para estimar o volume total e o volume de fuste em $m^3.ha^{-1}$, para um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG

Nº	Modelo	Autor
1	$V = \beta_0 + \beta_1.B.H + \varepsilon$	Spurr (1952)
2	$V = \beta_0 + \beta_1.B + \beta_2.H + \beta_3.B.H + \varepsilon$	Spurr (1952)
3	$LnV = \beta_0 + \beta_1.LnB + \beta_2.LnH + \varepsilon$	Ung e Quellet (1991)*
4	$V = e^{\beta_0.B^{\beta_1}.H^{\beta_2}}.\varepsilon$	Ung e Quellet (1991)
5	$V = \beta_0 + \beta_1.LnB.H + \varepsilon$	Figueiredo Filho (1983)
6	$V = \beta_0 + \beta_1.LnB^2.H + \varepsilon$	Figueiredo Filho (1983)
7	$LnV = \beta_0 + \beta_1.LnB.H + \varepsilon$	Figueiredo Filho (1983)
8	$LnV = \beta_0 + \beta_1.LnB^2.H + \varepsilon$	Figueiredo Filho (1983)

*linearizado; em que: V = volume total ou de fuste com casca por hectare, em m^3 ; B = área basal por hectare, em $m^2.ha^{-1}$; H = altura total ou de fuste média das árvores, em m; Ln = logaritmo neperiano; β_i = parâmetros do modelo; e ε = erro aleatório.

Os modelos lineares foram ajustados pelo Método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MMQO) e o modelo não linear foi ajustado pelo algoritmo Quasi-Newton, com o auxílio do software STATISTICA 10.0 (STATSOFT, 2010). A qualidade dos ajustes e a escolha dos melhores modelos descritos na Tabela 2.1 basearam-se na análise do coeficiente de variação

(CV) e coeficiente de correlação (r); na coerência e significância dos parâmetros; e na análise gráfica dos resíduos percentuais ($R\%$), como utilizado por Oliveira et al. (2005). A equação dos resíduos percentuais é descrita a seguir.

$$R(\%) = \frac{\hat{V} - V}{V} * 100$$

em que: \hat{V} = volume estimado, em $m^3.ha^{-1}$; e V = volume observado, em $m^3.ha^{-1}$.

Foram gerados gráficos de resíduos percentuais para as estimativas do volume de povoamento obtidas pelas equações ajustadas, em relação aos volumes observados, buscando identificar possíveis discrepâncias ou tendências nos resultados.

Os volumes estimados pelas equações obtidas foram comparados com os correspondentes volumes observados utilizando-se o teste “F” de Graybill (GRAYBILL, 1976) a 95% de probabilidade.

A fim de avaliar o grau de relacionamento entre as variáveis volume total e de fuste em $m^3.ha^{-1}$, área basal por unidade de área em $m^2.ha^{-1}$ e alturas totais e de fuste médias, foram elaboradas matrizes de correlações lineares simples, sendo testadas estas correlações por meio do teste t com 95% de probabilidade, utilizando-se o software STATISTICA 10.0 (STATSOFT, 2010).

2.2.6. Obtenção dos volumes estimados pelas redes neurais artificiais utilizando variáveis contínuas

Foram ajustadas 16 redes neurais artificiais do modelo *Multilayer Perceptron* (MLP), com o auxílio da ferramenta *Intelligent Problem Solver* do software STATISTICA 10.0 (STATSOFT, 2010), sendo oito redes utilizando a área basal por unidade de área (B) e a altura total média das árvores (Ht) como variáveis de entrada e o volume total (Vt) como variável de saída, e oito redes estimando o volume de fuste (Vf) em função da área basal por unidade de área (B) e a altura média dos fustes (Hf). Nas redes do tipo MLP, a função de ativação (não linear) aplicada a cada neurônio, utiliza como argumento o produto escalar do vetor de entrada (x) e do vetor peso (w) associado a esse nodo, possui pelo menos uma camada oculta de processamento e alto grau de conectividade entre os neurônios, a qual é definida pelos pesos sinápticos (SILVA, 2009). Para estas redes, o treinamento é do tipo *feedforward* e se dá pelo método supervisionado. Foi utilizada a proporção de 70% dos dados para treinamento e 30% para teste e validação das redes neurais geradas.

Foram gerados gráficos de resíduos percentuais para as estimativas volumétricas por unidade de área por parcela obtidas pela aplicação das redes neurais artificiais, em relação aos volumes observados, buscando identificar possíveis discrepâncias ou tendências nas estimativas obtidas.

Os volumes estimados pelas arquiteturas das redes neurais geradas foram comparados com os correspondentes volumes observados por meio do teste “F” de Graybill (GRAYBILL, 1976) a 95% de probabilidade.

2.2.7. Obtenção dos volumes estimados pelas redes neurais artificiais utilizando variáveis contínuas e categórica

Foram ajustadas dezesseis redes do modelo *Multilayer Perceptron* (MLP), com o auxílio da ferramenta *Intelligent Problem Solver* do software STATISTICA 10.0 (STATSOFT, 2010), sendo oito redes utilizando a área basal por unidade de área (B) e a altura total média das árvores (Ht) como variáveis de entrada e o volume total em $m^3 \cdot ha^{-1}$ (Vt) como variável de saída, e oito redes estimando o volume de fuste em $m^3 \cdot ha^{-1}$ (Vf) em função da área basal por unidade de área (B) e a altura média dos fustes (Hf). Além das variáveis contínuas para estimar os volumes de povoamento totais e de fuste por parcela, também foi utilizada a variável categórica ‘qualidade de fuste’ (Qf) nas camadas de entrada das redes, que classifica os indivíduos em “bom”, “regular”, e “inferior” em relação ao seu aproveitamento volumétrico, como descrito na metodologia do capítulo 1 pela Tabela 1.1. Para adicionar essa variável como input das redes neurais preditoras dos volumes de povoamento por parcela, foi utilizada a média ponderada arredondada entre um valor atribuído à classe de qualidade de fustes (valor 3 para o $Qf1$, 2 para o $Qf2$, e 1 para o $Qf3$) e o total de indivíduos em cada classe, por unidade de amostra, como exemplificado abaixo:

- Se uma parcela possui 20 indivíduos na classe de qualidade de fuste 1 ($Qf1$), 25 indivíduos na classe 2 ($Qf2$) e 30 indivíduos na classe 3 ($Qf3$), então sua média ponderada (MP) utilizada na camada de entrada das redes neurais é dada por:

$$MP = \frac{(20 * 3) + (25 * 2) + (30 * 1)}{3 + 2 + 1} = 23,33 = 23$$

Foi utilizada a proporção de 70% dos dados para treinamento e 30% para teste e validação das redes neurais geradas.

Foram gerados gráficos de resíduos percentuais para as estimativas volumétricas por unidade de área obtidas pela aplicação das redes neurais utilizando variáveis contínuas e

categorica, em relação aos volumes observados, buscando identificar possíveis discrepâncias ou tendências nas estimativas obtidas. Os volumes estimados foram comparados com os correspondentes volumes observados por meio do teste “F” de Graybill (GRAYBILL, 1976) a 95% de probabilidade.

2.2.8. Comparações entre as metodologias

Para estabelecer uma comparação entre os melhores resultados obtidos pelos diferentes procedimentos utilizados para estimar os volumes por unidade de área, foram elaborados gráficos com as melhores estimativas, a fim de verificar a acuracidade de cada uma. A equação considerada de ajuste superior foi comparada com a melhor rede neural gerada por variáveis contínuas, e esta última comparada com a melhor rede obtida utilizando-se variáveis contínuas e categórica. Além da análise gráfica dos melhores resultados obtidos por cada procedimento, foi realizado o teste “F” de Graybill (GRAYBILL, 1976) a 95% de probabilidade, a fim de verificar a semelhança estatística entre os resultados.

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1. Estimativas populacionais e erro de amostragem

Registrou-se 1183 fustes de porte arbóreo-arbustivo com *DAP* igual ou superior a 5 cm, e a área basal encontrada foi de 25,50 m².ha⁻¹. De acordo com as equações do CETEC (1995), o volume total com casca e o volume de fuste com casca para as 25 unidades amostrais foram em média 194,91 e 70,60 m³.ha⁻¹ respectivamente. Souza et al. (2011) em seu trabalho realizado em dois fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual no Vale do Rio Doce, MG, considerando indivíduos com *DAP* igual ou superior a 5 cm, encontrou um volume total com casca de 115, 40 m³.ha⁻¹ e 245, 20 m³.ha⁻¹ para remanescentes em estágio médio e avançado de regeneração respectivamente.

As estimativas por unidade de área por parcela para as variáveis número de fustes, área basal em m².ha⁻¹, médias das alturas totais e de fuste em m, volumes totais e de fuste em m³.ha⁻¹, volumes por unidade de área relacionados a cada classe de qualidade de fuste (*VQfi*) encontram-se descritas na Tabela 2.2.

As estimativas dos volumes totais por parcela individual e por unidade de área foram utilizadas para calcular o desvio padrão, o coeficiente de variação, o erro padrão da média, além do valor calculado para o tamanho necessário da amostra (*n*) e erro de amostragem (*e*%). De acordo com a Tabela 2.2, verifica-se que o número de unidades amostrais lançadas (25

parcelas) foi suficiente para atender ao erro de amostragem admissível de 15%, a 90% de probabilidade, de acordo com a Portaria do IEF Nº 191, de 16/09/2005. O número de parcelas necessárias para atender o erro de amostragem (11) foi bem inferior ao número de unidades lançadas (25), no entanto as análises foram feitas utilizando-se as 25 parcelas, uma vez que a informação já havia sido registrada.

Em relação às estimativas do número de fustes por unidade de área, as parcelas 10 e 24 apresentaram valores superiores às demais, com 1600 fustes por hectare, seguidas das parcelas 5 e 9, que exibiram respectivamente 1550 e 1525 fustes por hectare. As menores estimativas foram representadas pelas parcelas 1, 4 e 18, aferindo 975, 925 e 850 fustes por hectare respectivamente (Tabela 2.2).

As parcelas número 3, 8 e 21 apresentaram as maiores estimativas de área basal por unidade de área, correspondentes a 42,37; 39,11 e 35,36 m².ha⁻¹ respectivamente. Os menores valores para estas estimativas foram representados pelas unidades amostrais número 19 e 25, que aferiram 19,30 e 10,85 m².ha⁻¹ (Tabela 2.2).

Para as estimativas dos volumes totais em m³.ha⁻¹ apresentados por cada classe de qualidade de fuste (*VQfi*), foi verificado que a classe 1, representada por indivíduos “bons” em relação ao aproveitamento volumétrico, apresentou maior proporção de volume com 107,25 m³.ha⁻¹ em média, seguida das classes 2 (indivíduos “regulares”) e 3 (indivíduos “inferiores”) de qualidade de fuste, com médias respectivas de 62,57 e 25,08 m³.ha⁻¹ (Tabela 2.2). Os resultados mostram que a maior parte do volume madeireiro presente no fragmento está contida na melhor classe de qualidade de fuste, inferindo sobre o alto grau de sanidade dos fustes e predominância de troncos retilíneos na comunidade vegetal.

Tabela 2.2 – Estimativas populacionais para as variáveis número de fustes por hectare; área basal (*B*) em m².ha⁻¹; alturas totais e de fuste médias em m, volume total (*Vt*) e de fuste (*Vf*) em m³.ha⁻¹, volumes totais por unidade de área para cada classe de qualidade de fuste (*VQfi*), desvios padrão, coeficientes de variação, erros padrão da média, além dos valores calculados para o tamanho necessário da amostra (*n*), erro de amostragem (*e*%), limites inferior e superior para 1 hectare amostral de um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG

Parcela	Nº Fustes/ha	<i>B</i> (m ² .ha ⁻¹)	<i>Ht</i> <i>Hf</i>		<i>Vf</i> (m ³ .ha ⁻¹)	<i>Vt</i>	<i>Vt Qf1</i> <i>Vt Qf2</i> <i>Vt Qf3</i>		
			(m)				(m ³ .ha ⁻¹)		
1	975	23,88	9,28	5,67	71,13	163,53	15,84	55,81	91,88
2	1375	20,50	8,41	5,29	63,21	146,92	16,88	59,80	70,24
3	1675	42,37	8,58	5,71	131,28	293,21	68,92	7,13	217,17
4	925	24,72	8,91	4,74	57,23	173,35	8,56	58,80	105,98
5	1550	30,93	8,65	5,29	92,02	235,37	3,46	102,98	128,93
6	1300	33,36	8,46	5,33	77,51	205,10	45,32	9,17	150,61

Tabela continua

Parcela	Nº Fustes/ha	<i>B</i>	<i>Ht</i>	<i>Hf</i>	<i>Vf</i>	<i>Vt</i>	<i>Vt Qf1</i>	<i>Vt Qf2</i>	<i>Vt Qf3</i>
		(m ² .ha ⁻¹)	(m)		(m ³ .ha ⁻¹)		(m ³ .ha ⁻¹)		
7	1025	26,31	9,65	5,85	66,72	187,55	5,46	58,85	123,24
8	1150	39,11	9,49	6,10	103,77	260,27	7,07	79,75	173,45
9	1525	27,89	8,99	4,45	53,27	192,31	45,62	72,83	73,86
10	1600	20,28	9,31	5,18	53,33	144,69	8,76	52,64	83,29
11	1050	22,19	8,95	5,11	49,94	146,57	2,63	45,53	98,41
12	1200	24,01	9,02	5,07	57,74	161,64	12,35	47,52	101,76
13	1450	33,93	9,66	5,60	80,64	259,95	1,14	65,99	192,81
14	975	34,10	7,91	5,03	82,56	207,40	90,62	16,94	99,84
15	1200	32,19	8,93	5,82	81,48	197,98	56,04	21,87	120,08
16	1500	24,32	8,18	5,18	69,36	158,62	5,28	24,69	128,65
17	1375	21,28	10,07	5,98	63,54	163,20	13,58	29,85	119,77
18	850	22,19	9,31	5,33	54,97	149,42	60,57	13,28	75,58
19	1425	19,30	9,59	4,76	41,34	136,74	11,17	85,83	39,74
20	1500	31,49	9,58	4,89	70,28	220,80	37,43	87,37	96,00
21	1350	35,36	8,93	5,37	100,10	240,19	4,20	122,53	113,47
22	1325	23,29	9,01	4,82	43,73	153,70	34,68	70,85	48,17
23	1050	24,84	9,98	5,14	74,96	187,64	8,31	114,55	64,78
24	1600	35,21	9,36	4,66	60,78	282,13	20,78	127,97	133,37
25	1200	10,85	10,85	5,81	64,02	204,50	42,47	131,80	30,23
Média	1286	27,36	9,16	5,29	70,60	194,91	25,08	62,57	107,25
E%						15			
Desvio Padrão						45,55			
Coef. Variação (%)						23,37			
Erro Padrão da Média						9,08			
Erro de Amostragem (%)						9,62			
Limite Inferior (m ³ .ha ⁻¹)						176,52			
Limite Superior (m ³ .ha ⁻¹)						214,04			
n						11			

2.3.2. Distribuição diamétrica

Os 1183 fustes com *DAP* igual ou superior a 5 cm, inseridos na amostragem, foram distribuídos em quatorze classes de diâmetro com 5 cm de amplitude (Figura 2.1). A primeira classe de *DAP* (5-9,9 cm) apresentou aproximadamente 52,7% dos fustes considerados e 86,8% dos indivíduos possuem *DAP* menor que 30 cm. A maior árvore inserida na amostragem foi a única representante da última classe diamétrica, com 82,12 cm de *DAP*. Apenas quatro indivíduos apresentaram *DAP* superior a 60 cm, sendo três representantes da mesma família (Fabaceae) e dois da mesma espécie (*Hymenaea courbaril* L.).

De acordo com os valores obtidos para o coeficiente de De Liocourt, observa-se maior inconstância nas classes superiores de diâmetro. Os resultados indicam maior desequilíbrio entre ingresso e mortalidade nessas classes, apresentando uma estrutura mais desbalanceada em relação às demais. Estes resultados podem estar associados à competição natural ou processos antrópicos, como a retirada de árvores de grande porte com alta valoração econômica.

A estrutura diamétrica do fragmento revelou que a comunidade arbóreo-arbustiva é composta principalmente por árvores de pequeno porte. Segundo Meyer (1952) o padrão da curva em exponencial negativo é característico de florestas inequiâneas, entretanto, este padrão só é verificado devido ao critério de inclusão dos indivíduos na amostragem, uma vez que só estão sendo considerados indivíduos adultos com *DAP* igual ou superior a 5 cm. Florestas naturais livres de intervenções apresentam distribuição normal dos indivíduos, quando considerados os diâmetros de todas as árvores, indicando equilíbrio entre recrutamento e mortalidade.

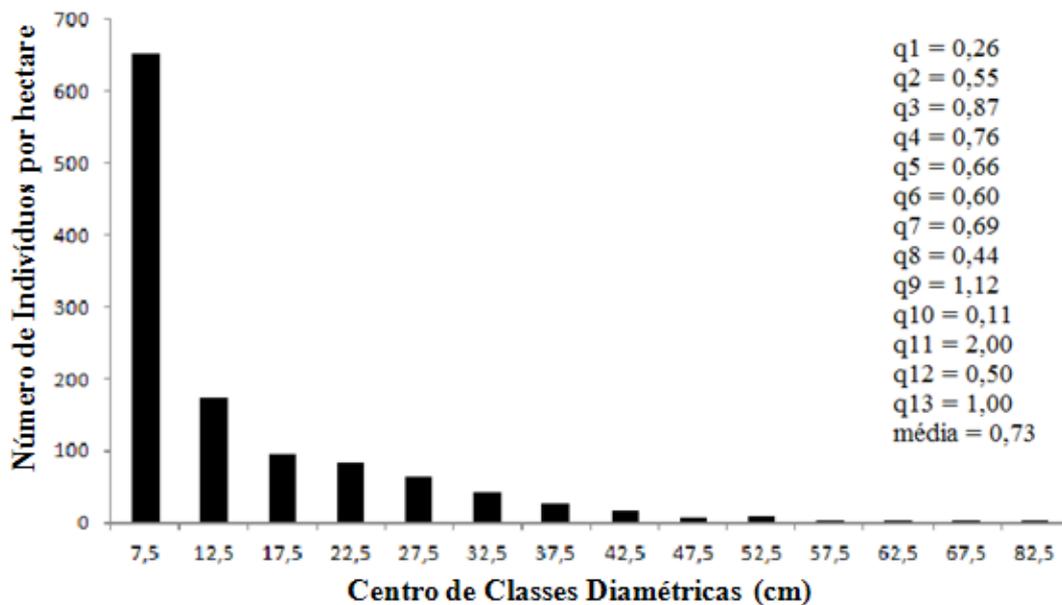


Figura 2.1 – Distribuição do número de indivíduos por hectare por classe de diâmetro em cm, e coeficiente ‘q’ de De Liocourt de um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.

2.3.3. Correlações entre as variáveis utilizadas nos modelos

Entre as variáveis envolvidas na estimação do volume total por unidade de área, de acordo com a Tabela 2.3 verifica-se que há uma alta correlação positiva (0,94) entre a área basal em $m^2 \cdot ha^{-1}$ (*B*) e o volume total em $m^3 \cdot ha^{-1}$ (*Vt*), e uma baixa correlação positiva (0,01)

entre esta última variável e a altura total média das árvores (Ht). Para as variáveis utilizadas na estimação do volume de fuste por unidade de área, observou-se uma alta correlação positiva (0,83) entre a área basal em $m^2 \cdot ha^{-1}$ (B) e o volume de fuste em $m^3 \cdot ha^{-1}$ (Vf), e uma moderada correlação (0,53) entre a altura de fuste média (Hf) e o volume por unidade de área. Estes resultados inferem sobre o alto grau de relacionamento da variável área basal por unidade de área na explicação dos volumes de povoamento totais e de fuste. A altura total apresentou baixa correlação positiva com o volume de povoamento total possivelmente por se tratar de uma variável menos precisa, uma vez que sua estimação torna-se menos concisa para árvores muito altas.

Tabela 2.3 – Matrizes de correlações lineares simples entre as variáveis volumes totais e de fuste por unidade de área em $m^3 \cdot ha^{-1}$ (Vt ou Vf), área basal por unidade de área em $m^2 \cdot ha^{-1}$ (B) e alturas totais e de fuste médias em m (Ht ou Hf)

	B ($m^2 \cdot ha^{-1}$)	Ht (m)		B ($m^2 \cdot ha^{-1}$)	Hf (m)
Vt ($m^3 \cdot ha^{-1}$)	0,94*	0,01 ^{ns}	Vf ($m^3 \cdot ha^{-1}$)	0,83*	0,53*

* valores significativos a 95% de probabilidade;

^{ns} valores não significativos a 95% de probabilidade.

2.3.4. Volumes estimados pelas equações ajustadas

De acordo com a Tabela 2.4, onde se encontram os coeficientes estimados e suas significâncias, bem como as respectivas medidas de precisão dos modelos avaliados, verifica-se que para as estimativas de volume total por unidade de área (Vt), as equações resultantes apresentam coeficientes de variação (CV) entre 6,52 e 7,44% e coeficientes de correlação (r) entre 0,9501 e 0,9618. Já para os modelos de volume de fuste por unidade de área (Vf) ajustados, o coeficiente de variação (CV) oscilou entre 12,69 e 15,09% e o coeficiente de correlação (r) entre 0,8594 e 0,9027.

Das equações obtidas para estimar o volume total com casca em $m^3 \cdot ha^{-1}$, as que possuem como variáveis independentes a área basal por hectare e altura média das árvores linearizadas, e variável dependente não linearizada (equações 5 e 6) apresentaram ajustes inferiores, com os maiores valores de coeficiente de variação (CV) e menores valores para o coeficiente de correlação (r).

As equações número 2, 3 e 4 obtiveram os menores valores de CV (%) e maiores valores de r , apresentando os melhores ajustes do conjunto de modelos analisado. No entanto, a equação 2 apresentou indícios de multicolinearidade devido a não significância dos coeficientes da equação pelo teste t a 95% e probabilidade, mesmo exibindo o alto valor de coeficiente de correlação, sendo por isso descartado. Pela Figura 2.2, verifica-se que as

equações 3 e 4 exibem resíduos semelhantes, aferindo uma pequena tendência a superestimação em classes de baixo estoque volumétrico e uma leve subestimação nas classes de volumes superiores. Ambas as equações possuem parâmetros associados às variáveis independentes significativos, no entanto, a equação obtida do modelo não linear de Ung & Quellet (1991) (equação 4) apresentou ajuste superior, exibindo medidas de precisão mais acuradas, sendo, portanto, selecionado como a melhor equação para estimar o volume total por unidade de área (V_t) entre os avaliados.

Oliveira et al. (2005), ajustando diferentes modelos de volume total em função da área basal e altura média das árvores para fragmentos de floresta estacional semidecidual no município de Viçosa, MG, encontrou resultados semelhantes, sendo o modelo de Ung e Quellet (1991) linearizado (Modelo 3) selecionado como o mais adequado.

Para as estimativas de volume de fuste em $m^3.ha^{-1}$ (V_f), as equações que apresentam como variáveis independentes a área basal por hectare e altura média das árvores linearizadas, e variável dependente não linearizada (equações 13 e 14) também apresentaram ajustes inferiores, juntamente com a equação 16, exibindo os maiores valores para o coeficiente de variação (CV) e os menores valores para o coeficiente de correlação (r).

De acordo com a análise gráfica da Figura 2.3, as equações 10, 11 e 12 visualmente apresentaram os menores resíduos percentuais em relação aos volumes de fuste observados por unidade de área. As equações número 10 e 12 obtiveram os menores valores de CV (%), maiores valores de r , segundo Tabela 2.4, no entanto é possível verificar que a equação 10 apresenta indícios de multicolinearidade devido a não significância dos coeficientes da equação mesmo exibindo o alto valor de coeficiente de correlação, sendo descartado. Como a equação número 12 (modelo não linear de Ung & Quellet) possui as medidas de precisão mais exatas e exibe parâmetros associados às variáveis independentes significativos, esta foi selecionada como a mais adequada para estimar o volume de fuste por unidade de área (V_f) entre as equações avaliadas.

Tabela 2.4 – Equações ajustadas para volume total (Vt) e volume de fuste (Vf) em $m^3 \cdot ha^{-1}$ em função da área basal em $m^2 \cdot ha^{-1}$ (B), das alturas totais médias das árvores (Ht) em m, e das alturas de fuste médias (Hf) em m, com os respectivos coeficientes de correlação (r) e coeficientes de variação (CV), para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG

Nº	Equações	r	CV(%)
1	$Vt = -1,677568^{ns} + 0,770315^* \cdot B \cdot Ht$	0,9585	6,79
2	$Vt = 60,899922^{ns} - 0,455961^{ns} \cdot B - 6,997122^{ns} \cdot Ht + 0,826233^{ns} \cdot B \cdot Ht$	0,9618	6,52
3	$LnVt = 0,333666^{ns} + 1,001751^* \cdot LnB + 0,723983^* \cdot LnHt$	0,9616	6,55
4	$Vt = e^{2,02421 \cdot B^{0,191174} \cdot Ht^{0,144616}}$	0,9617	6,53
5	$Vt = -896,912377^* + 197,833042^* \cdot LNB \cdot Ht$	0,9501	7,44
6	$Vt = -683,275575^* + 99,509600^* \cdot LnB^2 \cdot Ht$	0,9524	7,27
7	$LnVt = -0,231478^{ns} + 0,992788^* \cdot LnB \cdot Ht$	0,9585	6,81
8	$LnVt = 0,845407^* + 0,498828^* \cdot LnB^2 \cdot Ht$	0,9585	6,80
9	$Vf = 1,839215^{ns} + 0,463290^* \cdot B \cdot Hf$	0,9000	12,86
10	$Vf = 27,500319^{ns} - 1,412481^{ns} \cdot B - 4,117614^{ns} \cdot Hf + 0,703071^{ns} \cdot B \cdot Hf$	0,9027	12,70
11	$LnVf = -0,874872^{ns} + 0,879057^* \cdot LnB + 1,31720^* \cdot LnHf$	0,8988	12,96
12	$Vf = e^{1,33021 \cdot B^{0,221018} \cdot Hf^{0,254914}}$	0,9027	12,69
13	$Vf = -281,662835^* + 70,904237^* \cdot LnB \cdot Hf$	0,8828	13,86
14	$Vf = -237,873949^* + 37,280461^* \cdot LnB^2 \cdot Hf$	0,8594	15,09
15	$LnVf = -0,517360^{ns} + 0,953659^* \cdot LnB \cdot Hf$	0,8995	12,94
16	$LnVf = 0,092682^{ns} + 0,498873^* \cdot LnB^2 \cdot Hf$	0,8809	14,07

* Valores dos coeficientes significativos, com nível de significância de 0,05 pelo teste t .

^{ns} Valores dos coeficientes não significativos, com nível de significância de 0,05 pelo teste t .

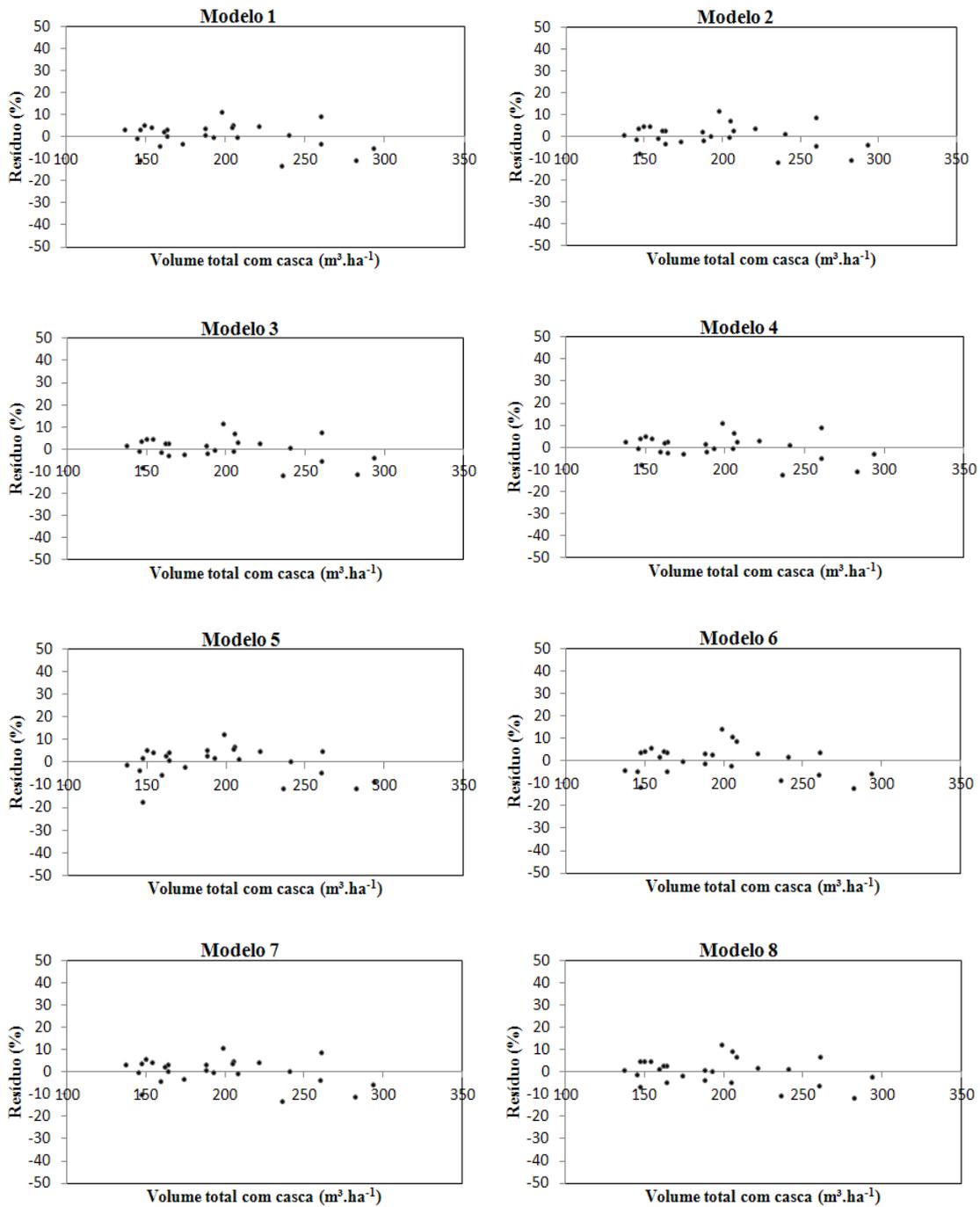


Figura 2.2 – Distribuição dos resíduos percentuais para os modelos que estimam o volume total em $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.

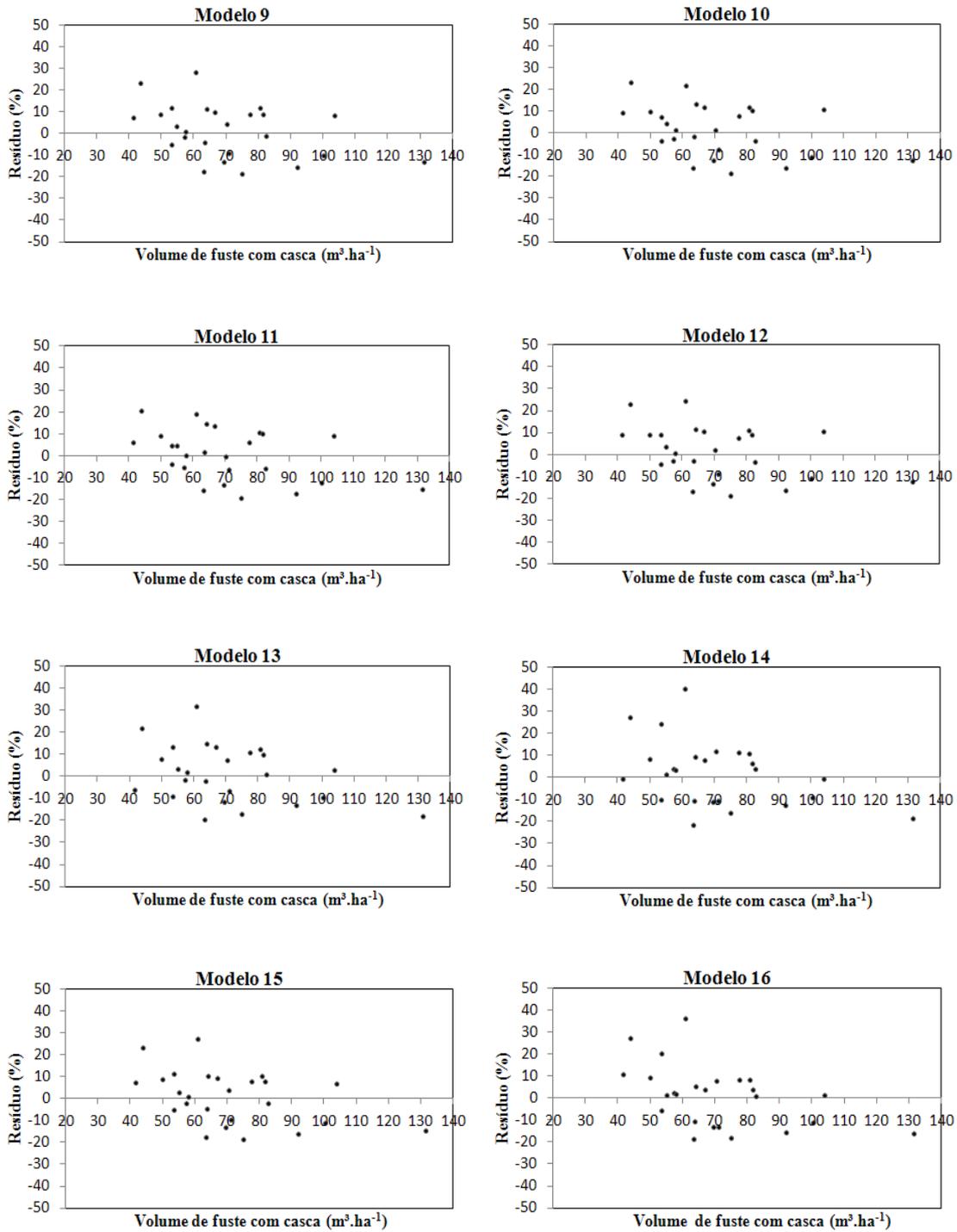


Figura 2.3 – Distribuição dos resíduos percentuais para os modelos que estimam o volume de fuste em $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.

De acordo com a Tabela 2.5, todas as equações geradas para quantificar o volume total em $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$ (V_t) apresentaram valores não significativos para o teste “F” de Graybill a 95% de probabilidade, inferindo que os valores estimados e observados são estatisticamente semelhantes para o nível de significância adotado. Já para as estimativas de volume de fuste, somente a equação 16 apresentou resultado significativo para o teste, inferindo valores estatisticamente diferentes dos observados. As demais equações exibiram valores estimados de volume de fuste por unidade de área estatisticamente semelhantes aos observados para a probabilidade adotada.

Tabela 2.5 – Valores observados e probabilidades para o teste “F” de Graybill a 95% de probabilidade, para os modelos que estimam o volume total (V_t) e o volume de fuste (V_f) em $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG

Modelos V_t	F(Ho) _{obs}	Probabilidade	Modelos V_f	F(Ho) _{obs}	Probabilidade
1	1,014 ^{ns}	0,3244	9	2,696 ^{ns}	0,1142
2	0,930 ^{ns}	0,3448	10	2,611 ^{ns}	0,1197
3	1,330 ^{ns}	0,2606	11	3,289 ^{ns}	0,0828
4	0,946 ^{ns}	0,3408	12	2,438 ^{ns}	0,1320
5	1,239 ^{ns}	0,2771	13	3,252 ^{ns}	0,0844
6	1,177 ^{ns}	0,2892	14	4,067 ^{ns}	0,0555
7	1,532 ^{ns}	0,2282	15	3,714 ^{ns}	0,0663
8	1,328 ^{ns}	0,2609	16	5,202*	0,0321

* Valores significativos a 95% de probabilidade, pelo teste “F” de Graybill.

^{ns} Valores não significativos a 95% de probabilidade, pelo teste “F” de Graybill.

2.3.5. Volumes estimados pelas redes neurais geradas por variáveis contínuas

As arquiteturas das redes neurais artificiais ajustadas do tipo *Multilayer Perceptron* (MLP) encontram-se descritas na Tabela 2.6, tendo como arquitetura genérica uma camada de entrada com as variáveis área basal por unidade de área (B), altura total média das árvores (H_t) ou altura de fuste média (H_f), uma ou duas camadas ocultas com n neurônios e uma camada de saída com apenas um neurônio, estimando o volume total ou o volume de fuste em $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$.

Tabela 2.6 – Arquiteturas e índices de treinamento e validação das redes neurais artificiais ajustadas para obtenção dos volumes totais (V_t) e volumes de fuste (V_f) em $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$, a partir das variáveis área basal em $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$ (B), altura total média (H_t) e altura de fuste média (H_f), em metros, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG

Rede	Entrada	Saída	Arquitetura	Índice de Treinamento	Índice de Validação	Número de Neurônios	
						Camada 1	Camada 2
1a	B	V_t	1-3-1	0,3617	0,4360	3	0
2a	B	V_t	1-4-1	0,3611	0,4341	4	0

Tabela continua

Rede	Entrada	Saída	Arquitetura	Índice de Treinamento	Índice de Validação	Número de Neurônios	
						Camada 1	Camada 2
3a	<i>B</i>	<i>Vt</i>	1-15-10-1	0,3601	0,4344	15	10
4a	<i>B e Ht</i>	<i>Vt</i>	2-4-1	0,2780	0,3895	4	0
5a	<i>B e Ht</i>	<i>Vt</i>	2-11-1	0,2774	0,3881	11	0
6a	<i>B e Ht</i>	<i>Vt</i>	2-15-8-1	0,2644	0,4116	15	8
7a	<i>B e Ht</i>	<i>Vt</i>	2-15-9-1	0,2393	0,6832	15	9
8a	<i>B e Ht</i>	<i>Vt</i>	2-15-10-1	0,0601	0,5692	15	10
9a	<i>B</i>	<i>Vf</i>	1-15-7-1	0,4403	0,8629	15	7
10a	<i>B e Hf</i>	<i>Vf</i>	2-1-1	0,3856	1,1960	1	0
11a	<i>B e Hf</i>	<i>Vf</i>	2-3-1	0,2921	1,2247	3	0
12a	<i>B e Hf</i>	<i>Vf</i>	2-7-1	0,2770	1,6819	7	0
13a	<i>B e Hf</i>	<i>Vf</i>	2-8-1	0,2333	1,1700	8	0
14a	<i>B e Hf</i>	<i>Vf</i>	2-10-1	0,2297	1,1961	10	0
15a	<i>B e Hf</i>	<i>Vf</i>	2-15-7-1	0,1368	1,6247	15	7
16a	<i>B e Hf</i>	<i>Vf</i>	2-15-13-1	0,0657	1,3442	15	13

Para as estimativas de volume total em $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$ (*Vt*), de acordo com a Figura 2.4, visualmente a rede neural artificial número 8a apresentou a menor dispersão residual em porcentagem entre as redes geradas, exibindo apenas uma pequena tendência a subestimação nas classes medianas de volumes. Pela Tabela 2.7 verifica-se que apenas esta rede neural apresenta valor não significativo para o teste “F” de Graybill a 95% de probabilidade, inferindo valores estatisticamente semelhantes aos observados, sendo, portanto, considerada como a rede de ajuste superior entre as obtidas. Esta rede apresenta duas variáveis na camada de entrada (*B* e *Ht*) e duas camadas de processamento, contendo 15 e 10 neurônios respectivamente. A diferença estatística entre os volumes observados e os volumes totais encontrados pelas demais redes, pelo teste F de Graybill a 95% de probabilidade, pode estar associada à menor precisão das estimativas das alturas totais, como mencionado anteriormente, interferindo negativamente nas estimativas.

Pela análise gráfica da Figura 2.5, para as estimativas de volume de fuste por unidade de área em $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$, verifica-se que as redes neurais artificiais número 13a, 14a e 16a apresentaram o melhores ajustes entre as redes geradas, todas utilizando duas variáveis na camada entrada. Entre estas, a rede 16a foi selecionada como a de estimativas mais aproximadas, por exibir as menores dispersões residuais em porcentagem em relação aos volumes de fuste observados, apresentando somente uma leve tendência à superestimação dos volumes nas classes inferiores e subestimação nas classes medianas. A arquitetura desta rede é formada por duas variáveis na camada de entrada (*B* e *Hf*) e duas camadas ocultas ou de processamento contendo 15 e 13 neurônios em cada.

Pelos resultados obtidos dos testes “F” de Graybill, todas as redes neurais geradas para quantificar o volume de fuste por unidade de área (V_f) apresentaram estimativas estatisticamente semelhantes aos volumes considerados por este trabalho como observados, a 95% de probabilidade, como apresentado na Tabela 2.7.

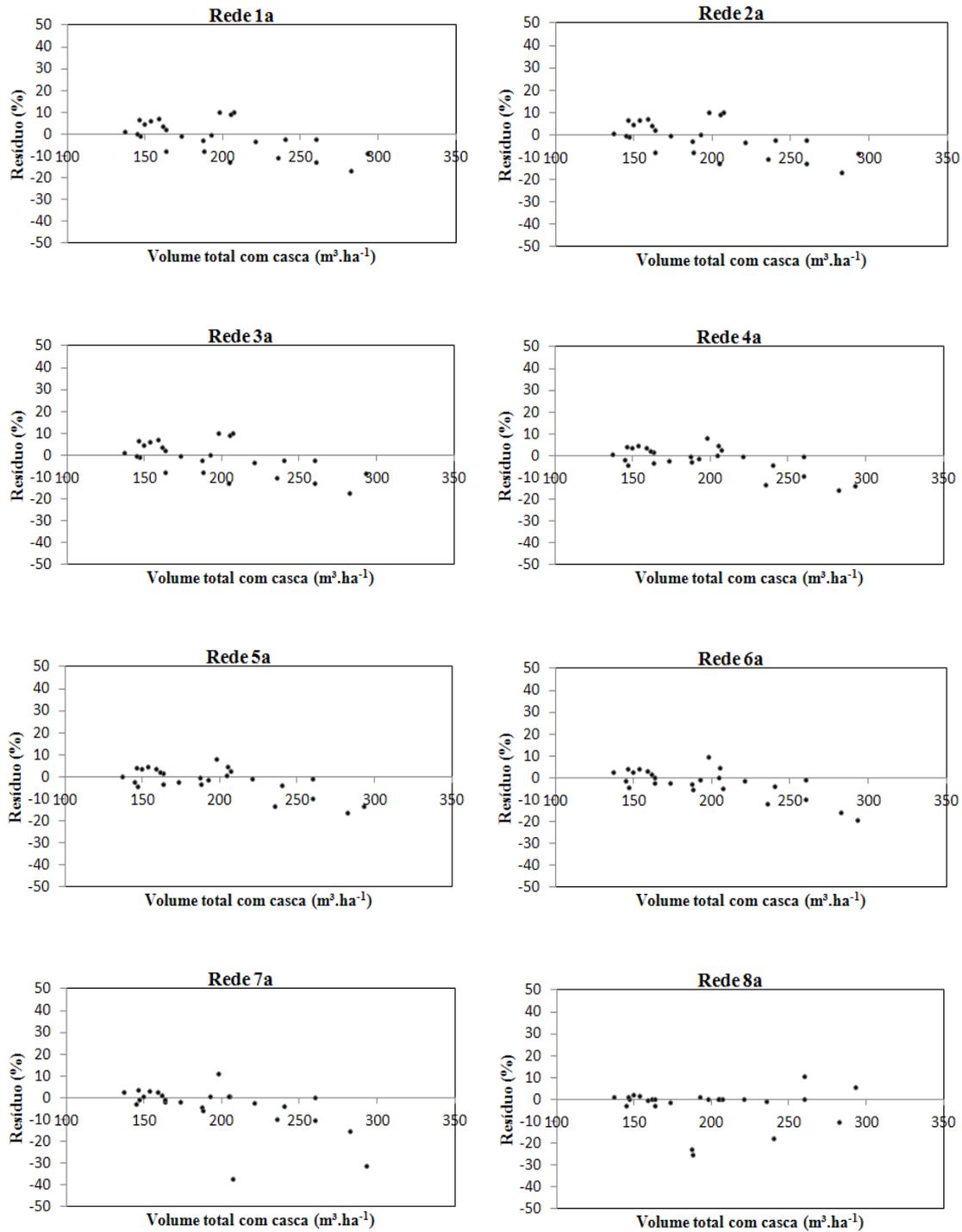


Figura 2.4 – Distribuição dos resíduos percentuais das redes neurais artificiais ajustadas para estimar os volumes totais com casca, em $m^3.ha^{-1}$, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.

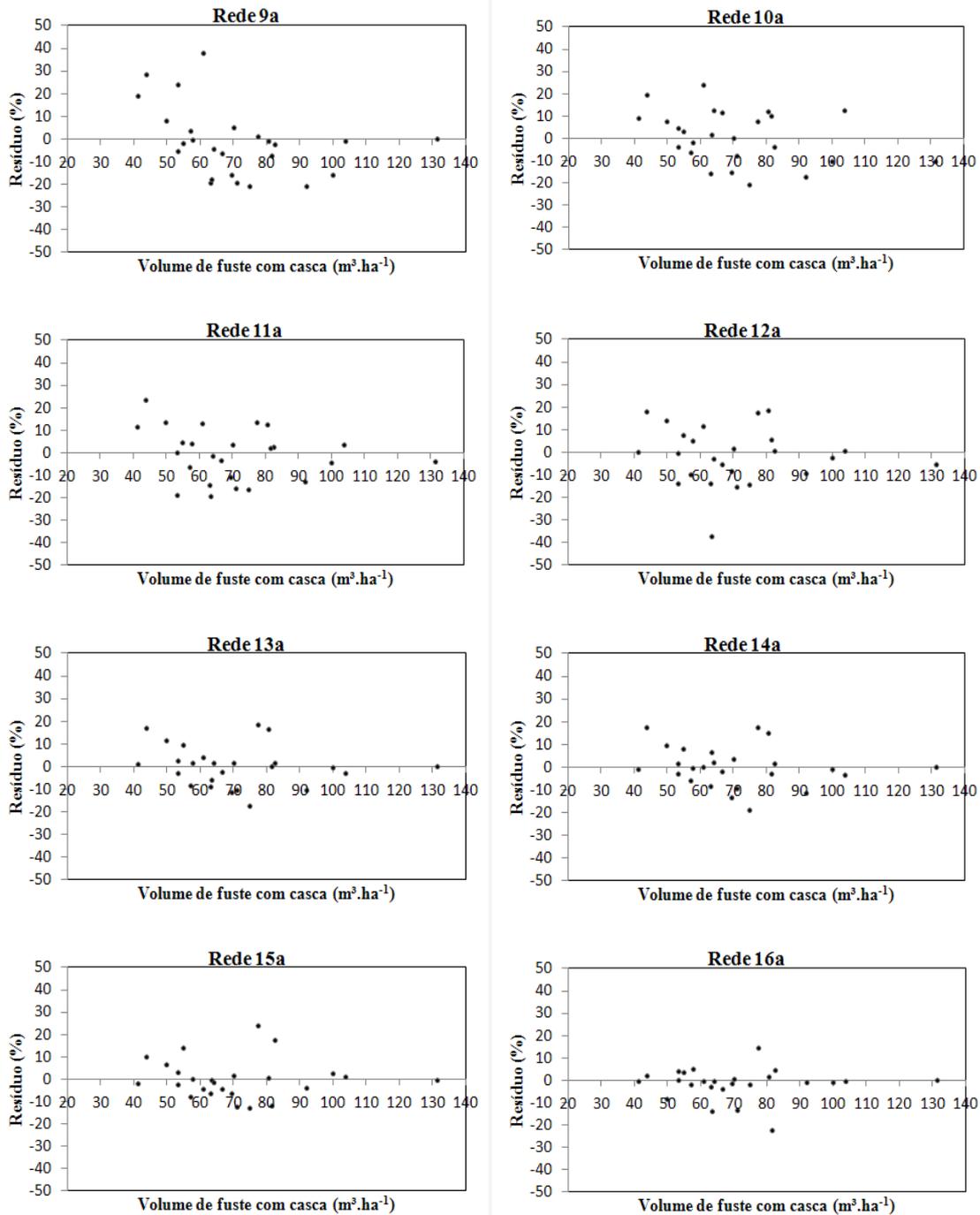


Figura 2.5 – Distribuição dos resíduos percentuais das redes neurais artificiais ajustadas para estimar os volumes de fuste com casca, em $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.

Tabela 2.7 – Valores tabelados e observados do teste “F” de Graybill a 95% de probabilidade, para as redes neurais artificiais que estimam o volume total (V_t) e o volume de fuste (V_f) em $m^3 \cdot ha^{-1}$, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG

Redes V_t	F(Ho) _{obs}	Probabilidade	Redes V_f	F(Ho) _{obs}	Probabilidade
1a	8,682*	0,0072	9a	2,690 ^{ns}	0,1145
2a	8,280*	0,0085	10a	1,451 ^{ns}	0,2406
3a	8,343*	0,0082	11a	0,652 ^{ns}	0,4276
4a	13,662*	0,0011	12a	0,408 ^{ns}	0,5292
5a	13,341*	0,0013	13a	0,188 ^{ns}	0,6686
6a	16,652*	0,0004	14a	0,319 ^{ns}	0,5776
7a	10,158*	0,0041	15a	0,006 ^{ns}	0,9389
8a	0,876 ^{ns}	0,3590	16a	0,409 ^{ns}	0,5287

* Valores significativos a 95% de probabilidade, pelo teste “F” de Graybill.

^{ns} Valores não significativos a 95% de probabilidade, pelo teste “F” de Graybill.

2.3.6. Comparação entre as melhores equações e redes neurais ajustadas por variáveis contínuas

Pela comparação gráfica (Figura 2.6) das estimativas dos volumes totais por unidade de área em $m^3 \cdot ha^{-1}$ obtidos pela melhor equação ajustada (equação 4) e pela rede neural 8a, considerada de estimativa mais aproximada em relação aos volumes observados, constatou-se que visualmente não existem grandes diferenças em termos de tendências, com apenas uma leve subestimação das estimativas geradas pela rede 8a e superestimação das estimativas da equação 4 nas classes medianas de volume. Ambas as técnicas apresentaram resultados estatisticamente semelhantes pelo teste F de Graybill a 95% de probabilidade, conferido pelo valor não significativo de 0,623 (probabilidade 0,8680) para o teste.

De acordo com a Figura 2.7, para as estimativas de volumes de fuste por unidade de área em $m^3 \cdot ha^{-1}$, verifica-se que a comparação da melhor equação ajustada (equação 12) com a mais adequada arquitetura de redes neurais considerada (rede 16a), também não existiram grandes diferenças em termos de tendências, com uma leve superioridade na acuracidade das estimativas obtidas pelo método de redes neurais artificiais. O teste F de Graybill a 95% de probabilidade apresentou valor não significativo de 0,106 (probabilidade 0,4055) para a comparação estatística entre os melhores resultados encontrados para os volumes de fuste por unidade de área, implicando em valores semelhantes estatisticamente pela probabilidade adotada.

Apesar do satisfatório desempenho de ambas as técnicas analisadas, a aplicação da metodologia de redes neurais artificiais pode exigir mais tempo e esforço computacional em relação à utilização de modelos, sendo, portanto, recomendada para auxiliar na análise de estimativas volumétricas obtidas por métodos convencionais.

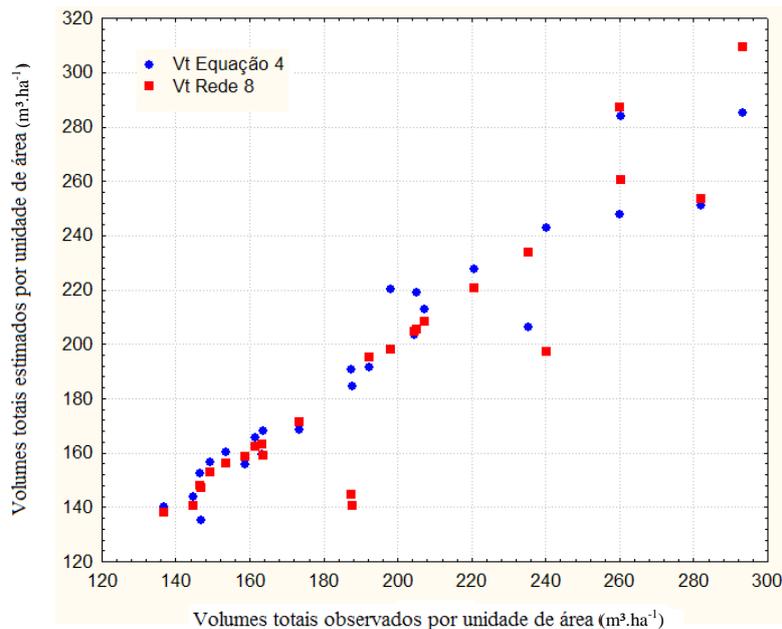


Figura 2.6 – Volumes totais por unidade de área estimados pela melhor equação ajustada (Equação 4) e pela arquitetura de redes neurais considerada mais adequada (Rede 8a), em função dos volumes totais observados em $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.

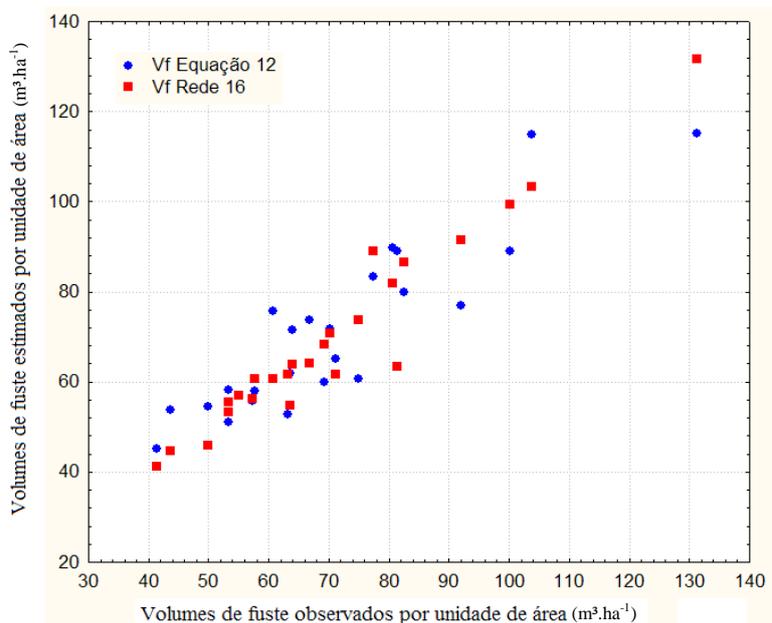


Figura 2.7 – Volumes de fuste estimados por unidade de área pela melhor equação ajustada (Equação 12) e pela arquitetura de redes neurais considerada mais adequada (Redes 16a), em função dos volumes de fuste observados em $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.

2.3.7. Volumes estimados pelas redes neurais geradas por variáveis contínuas e categóricas

As arquiteturas das redes neurais artificiais ajustadas do tipo *Multilayer Perceptron* (MLP) utilizando variáveis contínuas e categóricas na camada de entrada encontram-se descritas na Tabela 2.8, tendo como arquitetura genérica uma camada de entrada com as variáveis *DAP*, *Ht*, *Hf* e *Qf* de uma a duas camadas ocultas com *n* neurônios e uma camada de saída com apenas um neurônio, estimando o volume total ou de fuste por unidade de área em $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$.

Tabela 2.8 – Arquiteturas e índices de treinamento e validação das redes neurais artificiais ajustadas para obtenção dos volumes totais e de fuste em $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$ a partir das variáveis *DAP*, *Ht* e *Qf*, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG

Rede	Entrada	Saída	Arquitetura	Índice de Treinamento	Índice de Validação	Número de Neurônios	
						Camada 1	Camada 2
	<i>B e Ht</i>	<i>Vt</i>	2-6-1	0,2764	0,3751	6	0
2b	<i>B e Ht</i>	<i>Vt</i>	2-7-1	0,2750	0,4090	7	0
3b	<i>B e Ht</i>	<i>Vt</i>	2-11-1	0,2641	0,5592	11	0
4b	<i>B e Ht</i>	<i>Vt</i>	2-15-9-1	0,0232	0,9732	15	9
5b	<i>B e Ht</i>	<i>Vt</i>	2-15-10-1	0,0222	1,4861	15	10
6b	<i>B, Ht e QF</i>	<i>Vt</i>	3-6-1	0,0096	0,5790	6	0
7b	<i>B, Ht e QF</i>	<i>Vt</i>	3-15-8-1	0,0074	1,1749	15	8
8b	<i>B, Ht e QF</i>	<i>Vt</i>	3-15-11-1	0,0058	0,4708	15	11
9b	<i>B</i>	<i>Vf</i>	1-8-1	0,4826	0,6545	8	0
10b	<i>B e Hf</i>	<i>Vf</i>	2-5-1	0,1600	2,4796	5	0
11b	<i>B e Hf</i>	<i>Vf</i>	2-15-7-1	0,1210	1,3441	15	7
12b	<i>B e Hf</i>	<i>Vf</i>	2-15-10-1	0,1125	2,0234	15	10
13b	<i>B, Hf e QF</i>	<i>Vf</i>	3-7-1	0,0183	3,1036	7	0
14b	<i>B, Hf e QF</i>	<i>Vf</i>	3-9-1	0,0171	1,3347	9	0
15b	<i>B, Hf e QF</i>	<i>Vf</i>	3-15-8-1	0,0081	2,3565	15	8
16b	<i>B, Hf e QF</i>	<i>Vf</i>	3-15-11-1	0,0040	4,6204	15	11

Para as estimativas de volume total por unidade de área, as RNAs 4b e 5b apresentaram os melhores resultados conforme análise visual da Figura 2.8, sendo consideradas somente as variáveis contínuas *B* e *Ht*. A rede 5b demonstrou bom desempenho na estimação dos volumes totais por unidade de área, no entanto, proporcionou maior dispersão dos desvios em algumas classes de volume, quando comparada com a rede 4b. Esta última, apresentando dupla camada de processamento e arquitetura MLP:2-15-9-1, visualmente apresentou a maior aproximação aos volumes observados entre as redes geradas, conferindo os menores desvios residuais em porcentagem. As redes ajustadas que utilizaram

também a qualidade de fuste para estimar os volumes totais (redes 6b, 7b e 8b), obtiveram ajustes aproximados na maioria das classes de volume, no entanto, verifica-se que em algumas classes, os desvios foram acentuados. Estes resultados podem sugerir que na aplicação da metodologia de redes neurais artificiais para estimar o volume total do povoamento, considerando as condições adotadas neste experimento, as variáveis categóricas podem não influir positivamente nas estimativas, uma vez que não apresentaram resultados superiores. Todas as outras redes exibiram desempenho satisfatório, porém, apresentaram maior dispersão dos dados estimados em função dos observados na maioria das classes de volume.

Pela análise gráfica da Figura 2.9, para as estimativas de volume de fuste por unidade de área em $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$, verifica-se que todas as redes apresentaram os maiores desvios nas classes de menores volumes. As redes 13b, 14b, 15b e 16b, que além das variáveis contínuas *B* e *Hf*, também utilizaram a qualidade de fuste como variável preditora, visualmente obtiveram os melhores resultados, com predomínio de tendência à subestimação volumétrica nas classes inferiores de volume. Entre estas, a rede 13b foi selecionada como a de estimativas mais aproximadas, por exibir as menores dispersões residuais em porcentagem em relação aos volumes de fuste observados. A arquitetura desta rede é formada por três variáveis na camada de entrada (*B*, *Hf* e *QF*) e uma camada oculta ou de processamento contendo 7 neurônios. Os resultados indicam que para estimativas do volume de fuste por unidade de área recorrendo-se à aplicação de redes neurais, o acréscimo da variável categórica na camada de entrada pode aumentar a acuracidade das estimativas, auxiliando quantificações volumétricas comerciais.

Pelos resultados obtidos dos testes “F” de Graybill para as estimativas do volume total por unidade de área, de acordo com a Tabela 2.9, todas as redes apresentaram valores estatisticamente semelhantes aos observados, pelo nível de significância adotado. Das redes ajustadas para estimar os volumes de fuste, apenas a rede neural 9b apresentou valor significativo para o teste “F” de Graybill, inferindo que seus valores estimados são estatisticamente diferentes dos observados a 95% de probabilidade.

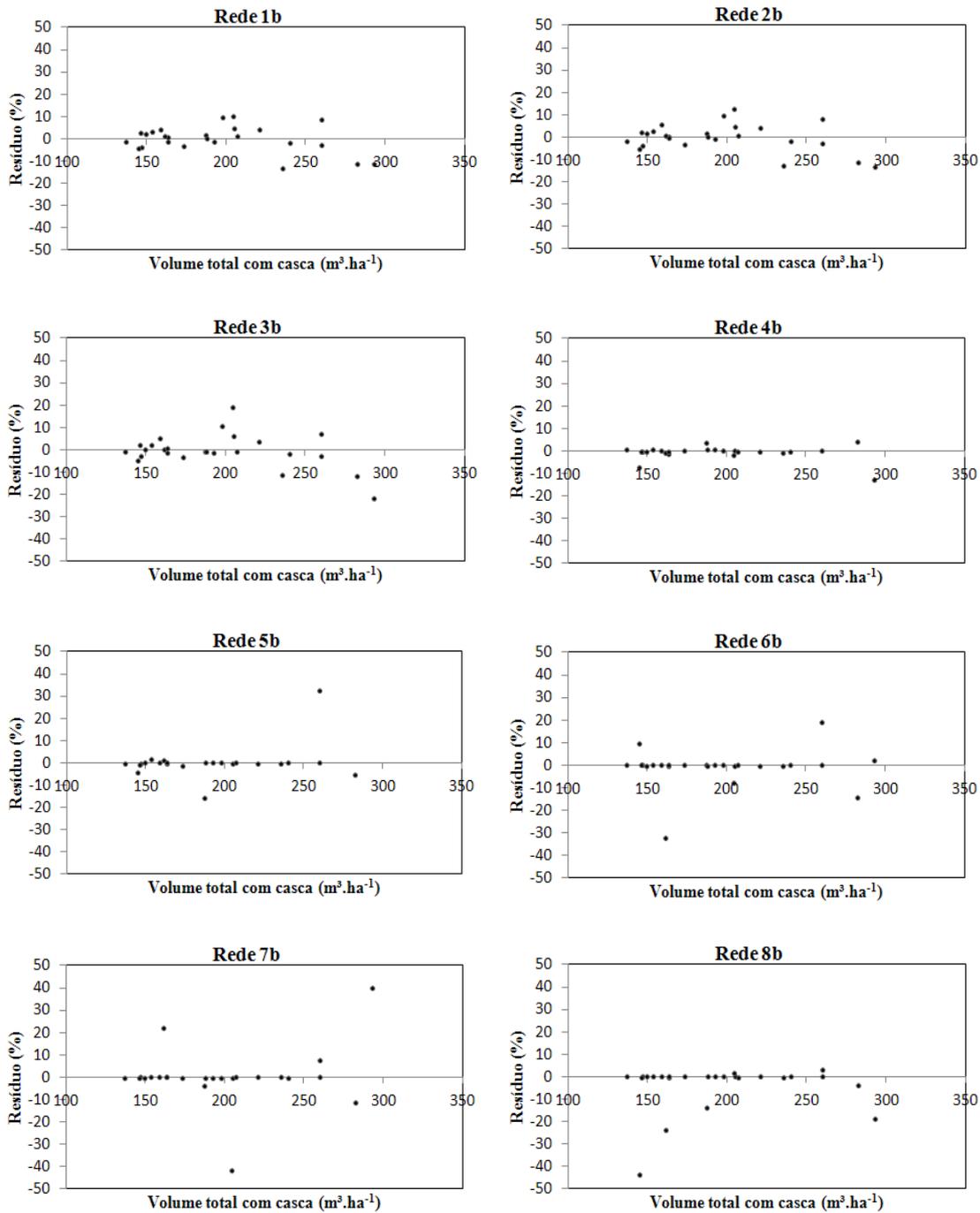


Figura 2.8 – Distribuição dos resíduos percentuais das redes neurais artificiais ajustadas para estimar os volumes totais com casca, em $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.

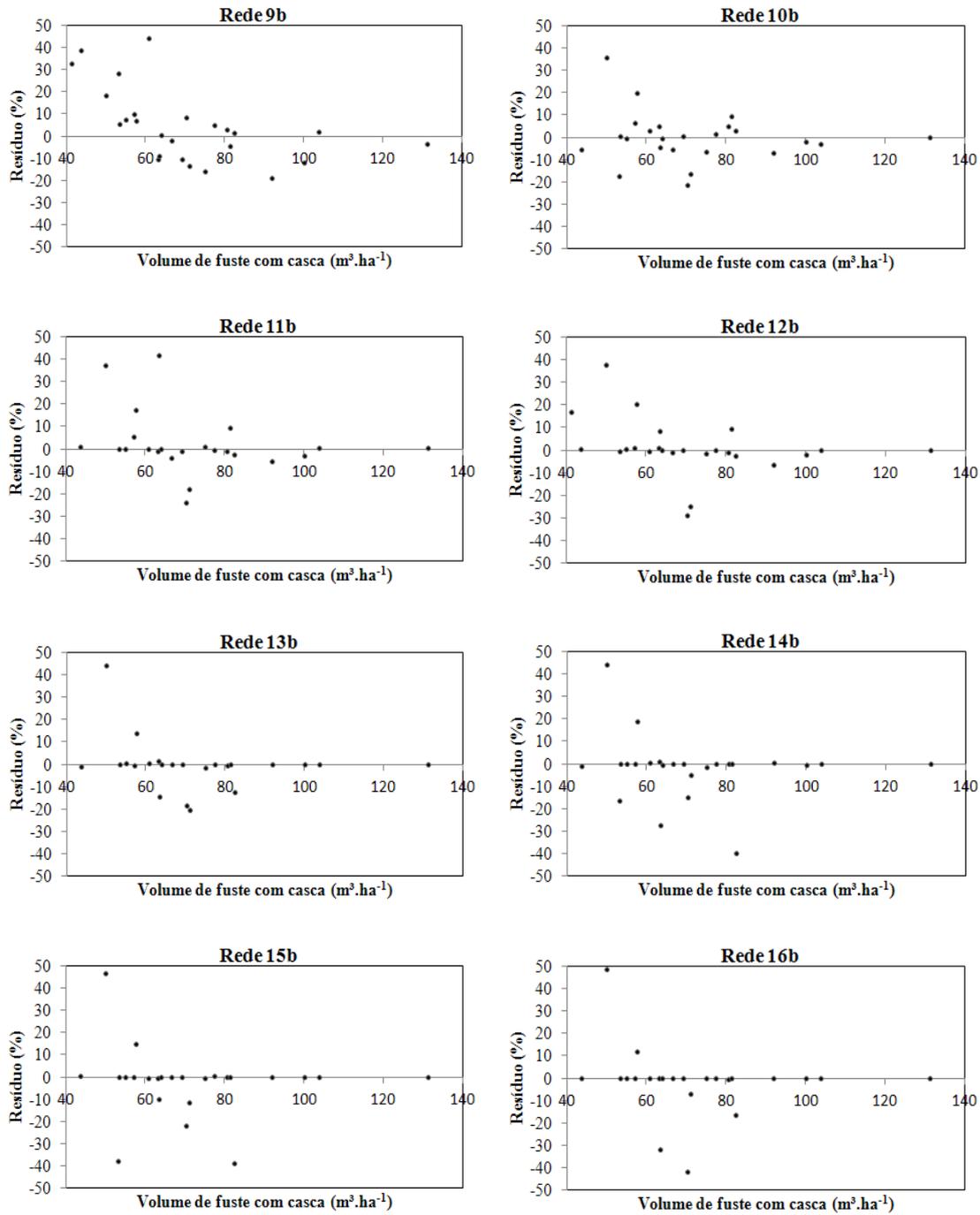


Figura 2.9 – Distribuição dos resíduos percentuais das redes neurais artificiais ajustadas para estimar os volumes de fuste com casca, em $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.

Tabela 2.9 – Valores observados e probabilidades para o teste “F” de Graybill a 95% de probabilidade, para as redes neurais artificiais que estimam o volume total (V_t) e o volume de fuste (V_f) em $m^3 \cdot ha^{-1}$, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG

Redes V_t	$F(Ho)_{obs}$	Probabilidade	Redes V_f	$F(Ho)_{obs}$	Probabilidade
1b	1,989 ^{ns}	0,1718	9b	5,096 [*]	0,0337
2b	2,082 ^{ns}	0,1625	10b	1,128 ^{ns}	0,2992
3b	2,575 ^{ns}	0,1222	11b	2,921 ^{ns}	0,1008
4b	0,836 ^{ns}	0,3700	12b	1,373 ^{ns}	0,2532
5b	3,642 ^{ns}	0,0688	13b	1,874 ^{ns}	0,1842
6b	0,143 ^{ns}	0,7087	14b	0,703 ^{ns}	0,4104
7b	1,235 ^{ns}	0,2779	15b	1,224 ^{ns}	0,2800
8b	0,876 ^{ns}	0,3590	16b	2,580 ^{ns}	0,1218

* Valores significativos a 95% de probabilidade, pelo teste “F” de Graybill.

^{ns} Valores não significativos a 95% de probabilidade, pelo teste “F” de Graybill.

2.3.8. Comparação entre as melhores redes neurais ajustadas por variáveis contínuas e por variáveis contínuas e categóricas

A comparação entre as estimativas consideradas mais aproximadas para as redes neurais ajustadas por meio de variáveis contínuas e redes que utilizaram variáveis contínuas associadas a categóricas, foi realizada somente para os volumes de fuste por unidade de área, uma vez que foi verificado que as variáveis categóricas não influenciaram positivamente nas estimativas do volume total do povoamento, pelas condições adotadas.

Pela análise gráfica da figura 2.10, verifica-se que visualmente não houve diferença significativa entre os volumes de fuste em $m^3 \cdot ha^{-1}$ obtidos pelas redes que utilizaram na camada de entrada, variáveis contínuas e variáveis contínuas e categórica, sendo que a rede 16a (contínuas) aferiu maior precisão para as classes de volumes inferiores, a rede 13b (contínuas e categórica) aproximou-se mais dos volumes medianos e ambos procedimentos apresentaram estimativas uniformes para as classes superiores de volume. Pelo teste F de Graybill a 95% de probabilidade, foi encontrado um valor não significativo de 1,112 (probabilidade 0,4006) para a comparação dos volumes de fuste por unidade de área obtidos pelas redes 16a e 13b, consideradas de ajustes superiores, indicando valores estatisticamente semelhantes pela significância adotada.

Considerando os critérios adotados e a forma como a variável categórica foi utilizada na metodologia, os resultados sugerem que a adição do atributo qualitativo dos fustes na estimação do volume do povoamento pela técnica de redes neurais não influenciou positivamente na precisão das estimativas, sendo mais onerosa que a utilização somente de variáveis contínuas para obtenção de redes para tal finalidade.

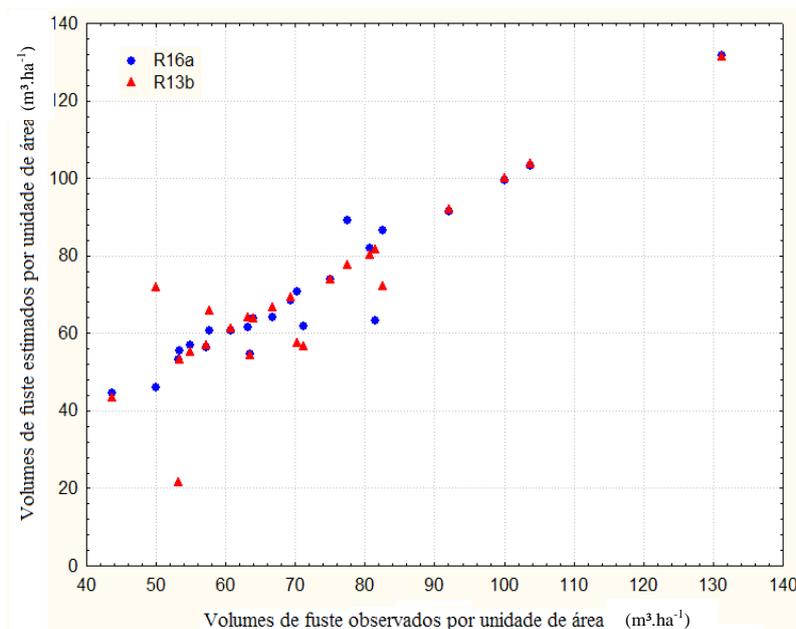


Figura 2.10 – Volumes de fuste estimados por unidade de área pela melhor rede neural ajustada somente com variáveis contínuas (rede 16a) e pela rede considerada mais adequada gerada a partir de variáveis contínuas e categóricas (Redes 13b), em função dos volumes de fuste observados em $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$, para um hectare de amostragem em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual em Curvelo, MG.

2.4. CONCLUSÕES

Considerando-se as 25 parcelas alocadas, representando um hectare amostral, o erro admissível de 15 % a 90% de probabilidade segundo Portaria do IEF Nº 191 de 2005 foi atendido, não sendo necessário aumentar o esforço amostral.

A distribuição dos 1183 indivíduos amostrados em quatorze classes diamétricas revelou um remanescente composto predominantemente por árvores de baixo porte, com um balanço positivo entre recrutamento e mortalidade.

Modelos volumétricos que empregam a área basal e altura média como variáveis independentes obtêm boa aproximação para quantificar o volume de povoamento, sendo indicados para obterem-se estimativas dessa natureza.

Do mesmo modo, a metodologia de redes neurais artificiais também é de desempenho satisfatório na quantificação do volume de florestas nativas utilizando somente variáveis contínuas, pelo teste e nível de significância adotados.

Considerando as condições deste ensaio, a utilização da classe de fuste associada às variáveis contínuas para estimar o volume do povoamento pela metodologia de redes neurais artificiais não apresentou melhoria na acurácia das estimativas.

2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEMDAG, I. S. **Metric stand volume tables for White Spruce and Lodgepole Pine in the upper Liard River area, Yuko Territory.** Forest Management Institute, Information report FMR-X-54M. September 1976.

AMARAL, P.; VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P., VITAL, E. **Floresta para sempre: um manual para a produção de madeira na Amazônia.** Belém: IMAZON, 1998. 137p.

BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. P.; LUDERMIR, T. B. **Redes Neurais Artificiais - Teoria e Aplicações.** Rio de Janeiro: LTC Editora, 2007.

BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA. **Normais climatológicas de 1961 – 1990.** Brasília; Secretaria nacional de Irrigação, Departamento nacional de Meteorologia, 1992. 84p.

BRASIL. 2002. **Biodiversidade brasileira.** Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas.

BUCKMAN, R. E. Development and Use of Three Stand Volume Equations for Minnesota. **Journal of Forestry**, Bathesda, MD, USA, v.59, n. 8, p.573-575, 1961.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas.** 3.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 548p.

CARRON, L. T.; CROMER, D. A. N. Stand volume tables with particular reference to *Pinus radiata* in the A. C. T. Camberra. **Forestry and Timber Bureau**, 1956. (Bulletin, 35).

CASTELLANOS, A.; BLANCO, A. M.; PALENCIA, V. Applications of radial basis neural networks for area forest. **International Journal Information Theories and Applications**, v.14, p.218-222, 2007.

CETEC. **Desenvolvimento de equações volumétricas aplicáveis ao manejo sustentado de florestas nativas do estado de Minas Gerais e outras regiões do país.** Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1995.

CHICHORRO, J. F. **Análise estrutural e econômica de multiprodutos de madeira em florestas naturais.** 2000. 241 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

COLE, D. M. **A cubic-foot stand volume equation for Lodgepole pine in Montana and Idaho.** Ogden, Utah: United States Department of Agriculture Forest Service Research. 1971. 8p. (Note, 150).

DURIGAN, M. E. **Florística, dinâmica e análise proteica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo - PR.** 1999. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

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

FARIAS, C. A.; SOARES, C. P. B.; SOUZA, A. L.; LEITE, H. G. Comparação de métodos de amostragem para análise estrutural de florestas inequiâneas. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 5, p.541-548, 2002.

FIGUEIREDO FILHO, A. **Estudos de modelos matemáticos para estimar o volume por unidade de área em uma floresta tropical úmida na Amazônia brasileira**. Curitiba, PN: UFP, 1983. 150p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, 1983.

GORGENS, E. B.; LEITE H. C.; SANTOS H. N.; GLERIANI, J. M. Estimação do volume de árvores utilizando redes neurais artificiais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.33, n.6, p.1141-1147, 2009.

GRAYBILL, F.A. **Theory and application of the linear model**. Massachusetts: Ouxburg Press, 1976. 704p.

HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.W. **Forest mensuration**. 3.ed. Malabar: Krieger Publishing Company, 1993, 402 p.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS – IEF. **Portaria do IEF - MG, No 191, de 16 de setembro de 2005**. Dispõe sobre normas de controle da intervenção em vegetação nativa e plantada no Estado de Minas Gerais.

KOVACS, Z. L. **Redes neurais artificiais: fundamentos e aplicações**. 2.ed. São Paulo: Colledium Cognitio, 1996. 174p.

LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.26, n.3, p.321-328, 2002.

LOETSCH, F.; ZOHRER, F.; HALLER, K.E. **Forest Inventory**. Wien. Munchen, B.L.V. Verlagsgesellschaft, vol. 2. 469 p., 1973.

LOETSCH, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory**. Munique: BLv Verlagsgesellschaft, 1964. v.1. 436 p.

MACHADO, S. A.; BARTOSZEK, A. C. P. S.; OLIVEIRA, E .B. Estudo da estrutura diamétrica para a *Araucaria angustifolia* em florestas naturais na região sul do Brasil. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 26, n. 1/2, p. 59-70, 1998.

MEYER, H. A. Structure, growth, and drain in balanced uneven-aged forests. **Journal of Forestry**, Bethesda, MD, USA, n. 52, v. 2, p. 85-92, 1952.

O'HARA, K. L. 2002. **The historical development of uneven-aged silviculture in North America**. *Forestry*, 75(4): 339-346.

OLIVEIRA, M. L. R.; SOARES, C. P. B.; SOUZA, A. L.; LEITE, H. G. Equações de volume de povoamento para fragmentos florestais naturais do município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.29, n.2, p.213-225, 2005.

OLIVEIRA, M. L. R.; LEITE, H. G.; GARCIA, S. L. R.; CAMPOS, J. C. C.; SOARES, C. P. B.; SANTANA, R. C. Estimação do volume de árvores de clones de eucalipto pelo método da similaridade de perfis. **Revista. Árvore**, Viçosa, MG, v.33, n.1. p.133-141, 2009.

PIZATTO, W. **Avaliação biométrica da estrutura e da dinâmica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo - PR: 1995 a 1998**. 1999. 172f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

PULZ, F. A. **Estudo da dinâmica e a modelagem da estrutura diamétrica de uma floresta semidecídua montana na região de Lavras - MG**. 1998. 156f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.

REZENDE, A. V.; VALE, A. T.; SANQUETTA, C. R.; FILHO, A. F.; FELFILI, J. M. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto* em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v. 71, p. 65-76, 2006.

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v.47, n.9, p.719-734, 1933.

SCOLFORO J. R.; CARVALHO, L. M. T.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, L. T.; JUNIOR, F. W. A.; CAVALCANTI, H. C.; VARGAS-FILHO, R. 2006. Procedimentos para mapeamento. In: SCOLFORO, J. R.; CARVALHO, L. M. T. (eds.). **Mapeamento e inventário da flora nativa dos reflorestamentos de Minas Gerais**. UFLA, Lavras. 288p.

SCRINZI G., MARZULLO L., GALVAGNI D. Development of a neural network model to update forest distribution data for managed alpine stands. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v.206, p 331–346, 2007.

SILVA, M. L. M.; BINOTI, D. H. B.; GLERIANI, J. M.; LEITE, H. G. Ajuste do modelo de Schumacher e Hall e aplicação de redes neurais artificiais para estimar volume de árvores de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.33, n.6, p.1133-1139, 2009.

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

SOUZA, A. L.; BOINA, A.; SOARES, C. P. B.; VITAL, B. R.; GASPAR, R. O.; LANA, J. M. Estrutura fitossociológica, estoques de volume, biomassa, carbono e dióxido de carbono em Floresta Estacional Semidecidual. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.35, n.6, p.1277-1285, 2011.

STATSOFT, Inc., 2010. STATISTICA (Data Analysis Software System), version 10.0. <http://www.statsoft.com>.

THOMAS, C.; ANDRADE, C. M.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS v.16, n.3. p.319-327, 2006.

UNG, C. H., QUELLET, D. Stand volume tables. Application to black spruce of Lebel-sur-Quevillon. **Forestry Chronicle**, Mattawa, ON, Canadá, v.7, n.6, p.712-715, 1991.

CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES

A aplicação de modelos volumétricos para quantificar o volume de povoamento a partir das variáveis área basal por hectare e altura média das árvores apresentou bom desempenho nas estimativas obtidas, representando uma alternativa viável e estatisticamente pertinente para tal finalidade.

Assim como a técnica de modelagem, a utilização de redes neurais artificiais na estimação do volume de povoamento de florestas naturais é de desempenho estatisticamente satisfatório pelo teste e nível de significância adotados, porém quando comparada ao uso de equações volumétricas, pode se mostrar mais onerosa e computacionalmente mais exigente, sendo recomendada para auxiliar tomadas de decisão baseadas em estimativas convencionais.

Considerando os critérios adotados neste trabalho, a adição da variável categórica “qualidade de fuste” às variáveis contínuas para estimar o volume de povoamento, não se mostrou eficiente na melhoria da acurácia das estimativas obtidas, apresentando resultados estatisticamente semelhantes à utilização somente de variáveis contínuas.

A busca por técnicas mais apropriadas e eficientes para utilizar as variáveis categóricas associadas às contínuas na estimação do volume de povoamento de florestas naturais deve ser incentivada, uma vez que atributos qualitativos dos indivíduos representam informações relevantes ao conhecimento da real produtividade dos recursos florestais e à avaliação do aproveitamento comercial madeireiro.