



REGIANE APARECIDA VILAS BÔAS FARIA

**ESTOQUE DE CARBONO E ATRIBUTOS
FLORÍSTICOS E EDÁFICOS DE
ECOSSISTEMAS FLORESTAIS EM PROCESSO
DE RESTAURAÇÃO**

LAVRAS – MG

2013

REGIANE APARECIDA VILAS BÔAS FARIA

**ESTOQUE DE CARBONO E ATRIBUTOS FLORÍSTICOS E EDÁFICOS
DE ECOSISTEMAS FLORESTAIS EM PROCESSO DE
RESTAURAÇÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós - Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Doutor.

Orientadora

Dra. Soraya Alvarenga Botelho

LAVRAS - MG

2012

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Faria, Regiane Aparecida Vilas Bôas.

Estoque de carbono e atributos florísticos e edáficos de ecossistemas florestais em processo de restauração / Regiane Aparecida Vilas Bôas Faria. – Lavras : UFLA, 2012.

167 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Soraya Alvarenga Botelho.

Bibliografia.

1. Composição florística. 2. Distribuição de espécies. 3. Áreas degradadas. 4. Recuperação. 5. Geoestatística. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 634.9

REGIANE APARECIDA VILAS BÔAS FARIA

**ESTOQUE DE CARBONO E ATRIBUTOS FLORÍSTICOS E EDÁFICOS
DE ECOSISTEMAS FLORESTAIS EM PROCESSO DE
RESTAURAÇÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós - Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 05 de novembro de 2012.

Dr. Jose Marcio de Mello UFLA

Dr. Marco Aurélio Fontes UFLA

Dr. Carlos Alberto Silva UFLA

Dr. Wendy Carniello Ferreira UFG

Dra. Soraya Alvarenga Botelho
Orientadora

LAVRAS - MG

2012

Ao ensino **GRATUITO** e de **QUALIDADE**: da educação infantil ao doutorado

DEDICO

A minha querida filha Alissa;

Ao meu esposo Jose Marcio;

A minha família e em especial à minha mãe

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

A elaboração de um trabalho só é possível com a existência de uma equipe. Deixo aqui registrado o meu mais sincero agradecimento e dizer a todos aqueles que participaram que foram importantes em todas as etapas da pesquisa, ou seja, no planejamento, execução e discussão dos resultados. MUITO OBRIGADA!

A **DEUS**, minha fonte de fé e confiança nos momentos de tribulações e por tudo à que tem me proporcionado;

Ao Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras, pelo apoio e estrutura proporcionados;

À Professora Soraya Alvarenga Botelho, pela oportunidade oferecida, orientação, e confiança depositada no meu trabalho. Obrigada pela amizade compartilhada em todos esses anos;

Ao Professor José Marcio de Mello, pelo modelo de orientação exemplar. Agradeço pelos atendimentos sempre solícitos e zelo científico na execução de todas as etapas da pesquisa. Os meus mais sinceros agradecimentos;

Ao Professor Carlos Alberto Silva e ao Professor Marco Aurélio Fontes Leite, colaboradores no desenvolvimento do trabalho;

Ao Professor Lourival Marin, pela disponibilização da UEPAM e sua estrutura durante o processamento das amostras;

Ao Professor e colega Paulo Oswaldo Garcia, pela amizade, contribuições valiosas, auxílios e sugestões;

À colega, Daniela Cunha da Sé (LEMAF/DCF), pela amizade e imprescindível ajuda no desenvolvimento das análises de geoestatística utilizadas no trabalho;

Ao colega, Sérgio Teixeira (LEMAF/DCF), pela colaboração durante o desenvolvimento desse trabalho;

Ao CNPQ/CTHidro, pela concessão da bolsa de estudos e custeio das atividades através do projeto “Indicadores de recuperação e sustentabilidade de matas ciliares em processo de recuperação e seu potencial de fixação de carbono”;

À CEMIG atra na pessoa do Oscar Moura Ribeiro Neto, pelo apoio logístico e áreas cedidas para a execução do trabalho;

Ao técnico José Pedro de Oliveira, pela ajuda com as atividades de coleta de dados no campo;

A todos os companheiros do curso, em especial aos amigos de laboratório Luciana, Elma, Selma, Mariana, Amanda, Tássia, Helane, Nicelle, André, Gabryella, Lizete, Geraldo, Álvaro, Leandro, Estela, Vinícius e Calango. Sempre vou lembrar-me de nossas conversas;

Aos bolsistas, estagiários e estudantes do curso de Engenharia Florestal que auxiliaram nas coletas de dados: Joelma, Stefano e Lucas;

Aos funcionários da Engenharia Florestal, em especial ao Wilson (DCF/UEPAN), Francisca e Thaísa (Secretaria/DCF) e José Carlos (Biólogo/DCF);

E, para as pessoas mais importantes da minha vida: minha querida filha Alissa, fonte de toda força e felicidade que carrego comigo. Filha, é lindo acompanhar cada fase sua;

Ao meu dedicado esposo, Jose Marcio Faria. Jose Marcio, obrigada pelo encorajamento na tomada de decisão de iniciar o doutorado. Seu apoio é sempre fundamental;

Aos meus pais, irmãos e sem esquecer meus queridos sobrinhos e cunhados. Fico sem palavras ao agradecer, pelo grande apoio e incentivo que sempre me deram, além de serem meu alicerce;

Agradeço, principalmente, a minha mãe Hélia que sempre esteve ao meu lado e ao meu pai Sebastião que sempre me orientou a trilhar o caminho da honestidade. Sou muito grata aos dois pelos ensinamentos transmitidos;

Aos meus queridos irmãos, eternos companheiros e amigos inseparáveis; Regilane, Reginaldo, Renata e Regina, pelo amparo e aconchego em todos os momentos da minha vida;

Agradeço a todos que de alguma forma ajudaram de forma direta ou indiretamente na elaboração e execução desse trabalho que, com certeza, foram fundamentais na minha formação como pessoa e como profissional.

RESUMO

Objetivou-se com o presente estudo: descrever o compartimento arbóreo de áreas em processo de restauração; analisar possíveis diferenças no processo de restauração de áreas com diferentes históricos e níveis de perturbação e quantificar e espacializar o estoque de carbono no estrato arbóreo, na serapilheira e no solo dos ecossistemas em processo de restauração. A pesquisa foi conduzida em áreas localizadas no entorno da Usina Hidrelétrica da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG). Foram plotadas 36 unidades amostrais onde foi feito os estudos dos aspectos florísticos e estruturais da vegetação, análise química e granulométrica dos solos e estimativa do estoque de carbono. Foram aplicados os métodos da geoestatística (semivariograma e krigagem) para analisar a dependência espacial do estoque de carbono nos diferentes compartimentos e produção de mapas de krigagem. Os resultados demonstraram variação pouco pronunciada quanto ao número de espécies (DE = 50 e PE = 52) e de famílias (DE = 19 e PE = 20). Tanto na categoria DE quanto na PE, a família que apresentou maior número de espécies e de indivíduos foi Fabaceae. Os indivíduos estão quase em sua totalidade na menor classe diamétrica (5 a 10 cm) e entre 5 e 10 m de altura. A densidade de árvores foi de 1.292, 1.214 e 1.716 indivíduos.ha⁻¹, para as categorias DE, PE e CON. A área basal foi 9,34 m².ha⁻¹, 15,10 m².ha⁻¹ e 8,24 m².ha⁻¹, demonstrando valores inferiores aos de levantamentos feitos na região empregando o mesmo critério de inclusão (DAP ≥ 5cm). Os índices de diversidade de Shannon (H') e as equabilidades de Pielou (J') foram de 3,17; 2,18 e 3,17 e 0,80; 0,71 e 0,76, verificados para as áreas DE, PE e CON, respectivamente. Houve tendência de formação de três grupos demonstrando que houve heterogeneidade espacial florística a um nível de corte de 25% no eixo de escala. A CCA produziu valores consideravelmente altos para as correlações espécie-ambiente ($r > 0,8$) para os primeiros eixos, sendo que os testes de permutação de Monte Carlo indicaram que as abundâncias das espécies e as variáveis edáficas foram significativamente correlacionadas. O uso da técnica de geoestatística possibilitou a descrição do estoque de carbono no estrato arbóreo, na serapilheira e no solo. A análise dos semivariogramas mostrou que o estoque de carbono nas áreas em processo de restauração e no fragmento de vegetação nativa apresentara dependência espacial, sendo baixa para o estrato arbóreo e solo na profundidade de 10 a 20 cm e moderada para serapilheira (ML e MNL) e solo (0 a 10 cm). Os dados se ajustaram ao semivariograma nos modelos Exponencial e Gaussiano. Na categoria PE, 47,44 ton.ha⁻¹ de carbono estão estocadas na parte aérea das árvores, 2,02 na serapilheira e 57,47 no solo, totalizando 106,93 ton.ha⁻¹, aos 19 anos de idade.

Palavras-chave: Composição florística. Distribuição de espécies. Recuperação de áreas degradadas e geoestatística.

ABSTRACT

The objective of this study was: to describe the tree compartment of areas in restoration process 19 years after the implementation of the restoration process; analyze possible differences in the restoration process of five areas with different backgrounds and disturbance levels; and quantify and spacing carbon stock in the compartments (tree layer, litter and soil) of the ecosystem in restoration process. The research was conducted in six areas located near the Hydroelectric Power Plant of the Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG). Thirty six sampling units were plotted along the study areas, in which the study of the floristic and structural aspects of the vegetation, chemical and particle size soil analyses, estimation of the carbon stock of the tree layer in woody (ML) and non-woody (MNL) material, and estimation of the soil carbon stock (0 to 10 and 10 to 20 cm) were done. Geostatistical methods (semivariogram and kriging) were applied to analyze the spatial dependence of the carbon stock in the different compartments and the production of kriging maps. The results showed slightly pronounced variation regarding the number of species (DE = 50 and PE = 52) and families (DE = 19, PE = 20). The family Fabaceae had the highest number of species and individuals in both DE and PE categories. Individuals are almost entirely in the smallest diameter class (5-10 cm) and between 5 and 10 m in height. The tree density was of 1,292, 1,214 and 1,716 individuals.ha⁻¹, for categories DE, PE and CON. The basal area was of 9.34, 15.10 and 8.24 m².ha⁻¹, showing values lower than those of surveys done in the region using the same inclusion criteria (DBH \geq 5 cm). The Shannon diversity indexes (H') and Pielou equability (J') were of 3.17, 2.18 and 3.17, and of 0.80, 0.71 and 0.76, varified for the DE, PE and CON areas, respectively. A tendency to form three groups occurred, demonstrating that there was floral spatial heterogeneity at 25% harvesting level in the scale axis. The CCA has produced considerably high values for the species-environment correlations ($r > 0.8$) for the first axis, with the Monte Carlo permutation tests indicating that the species abundances and edaphic variables were significantly correlated. The use of geostatistical technique enabled the description of the carbon stock in the tree layer, litter and soil. The semivariogram analysis has shown that the carbon stock in the areas in restoration process and in the native vegetation fragment presented spatial dependence, being low to tree layer and soil at depths of 10 to 20 cm and moderate to litter (ML and MNL) and soil (0-10 cm). The data were adjusted to the semivariogram in the Exponential and Gaussian models. In the PE category, 47.44 ton.ha⁻¹ of carbon are stored in the aerial parts of the trees, 2.02 in the litter and 57.47 in the soil, totalizing 106.93 ton.ha⁻¹, at 19 years of age.

Key-words: Floristic composition. Species distribution. Recovery of degraded areas and geoestatistics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Localização geográfica das áreas de reflorestamento ambiental e do fragmento e distribuição das unidades amostrais no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG	46
Figura 2	Detalhamento das áreas em processo de restauração no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG	47
Figura 3	Sequência de atividades desenvolvidas na metodologia	53
Figura 4	Sequência de atividades do inventário florestal: (a) delimitação de parcelas permanentes, (b) plaqueteamento e (c) medição de circunferência	54
Figura 5	Detalhamento da unidade e subunidades amostrais no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG. Localização e distribuição das unidades amostrais com detalhe das parcelas	57
Figura 6	Detalhamento do processo para obtenção da massa seca: (a) armazenamento da serapilheira coletada no campo; (b) triagem; (c) armazenamento em sacos de papel e (d) secagem em estufa de circulação e renovação de ar a 70 °C	58
Figura 7	Sequência de etapas necessárias para obtenção de biomassa do material lenhoso: (a), (b) e (c) pesagem do material lenhoso - M_L ; (d) retirada de amostras e (e) amostra a ser enviada ao Laboratório de Silvicultura	59
Figura 8	Sequência de atividades para obtenção da amostra em forma de pó para análise do carbono (a) armazenamento da serapilheira moída em sacos plásticos; (b) triturador; (c) extração do pó e (e) armazenamento do material em forma de pó para análise do carbono	61

Figura 9	Preparo das amostras em cápsulas de estanho (a), (b) e (c) análise do carbono no analisador do tipo TOC, modelo Vario TOC Cube, da marca Elementar	62
Figura 10	Número de indivíduos nas 10 famílias de maior representatividade quanto ao número de espécies (a) e quanto ao número de indivíduos (b) por família no estrato arbóreo das áreas em processo de restauração e no fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG	81
Figura 11	Distribuição diamétrica (cm) (a) e de altura (m) (b) dos indivíduos arbóreos amostrados nos plantios florestais de recomposição de matas ciliares e no fragmento natural no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG	83
Figura 12	Parâmetros fitossociológicos das 10 espécies com maior Valor de Importância (VI) por níveis diferenciados de perturbação no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG	87
Figura 13	Diagrama de Venn extraído da composição florística das três categorias nas áreas no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga (MG), mostrando o número de espécies compartilhadas	97
Figura 14	Dendrograma de similaridade entre as 36 parcelas das áreas de reflorestamento ambiental com diferentes níveis de perturbação (DE – Degradada, PE – Perturbada) e do fragmento de Floresta Estacional Semidecidual (FRN) no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG.....	107

Figura 15	Diagrama de ordenação das parcelas e variáveis ambientais edáficas nos dois primeiros eixos de ordenação produzidos pela análise de correspondência canônica (CCA) computada a partir das comunidades arbóreas inventariadas nas áreas de reflorestamento ambiental com diferentes níveis de perturbação e do fragmento de Floresta Estacional Semidecidual (FRN) no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG	113
Figura 16	Diagrama de ordenação das espécies e variáveis edáficas nos dois primeiros eixos de ordenação produzidos pela análise de correspondência canônica (CCA) da abundância das espécies distribuídas nas áreas de reflorestamento ambiental com diferentes níveis de perturbação e do fragmento de Floresta Estacional Semidecidual (FRN) no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG.....	115
Figura 17	Semivariograma ajustado para o estoque de carbono no estrato arbóreo nas áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e do fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga (MG).....	120
Figura 18	Distribuição espacial do estoque de carbono ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) no estrato arbóreo nas áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e no fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga (MG).....	122
Figura 19	Semivariograma ajustado para o estoque de carbono na serapilheira (material não lenhoso - M_{NL}) nas áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e do fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga (MG).....	126

Figura 20	Distribuição espacial do estoque de carbono (ton.ha^{-1}) na serapilheira acumulada (material não lenhoso - M_{NL}) sobre o solo nas áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e no fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga (MG).....	128
Figura 21	Semivariograma ajustado para o estoque de carbono na serapilheira (material lenhoso - M_L) nas áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e do fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga (MG).....	130
Figura 22	Distribuição espacial do estoque de carbono (ton.ha^{-1}) na serapilheira acumulada (material lenhoso - M_L) sobre o solo nas áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e no fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga (MG).....	131
Figura 23	Semivariograma ajustado para o estoque de carbono no solo (0 a 10 cm) nas áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e do fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga (MG).....	134
Figura 24	Semivariograma ajustado para o estoque de carbono no solo (10 a 20 cm) nas áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e do fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga (MG).....	135
Figura 25	Distribuição espacial do estoque de carbono (ton.ha^{-1}) no solo na profundidade de 0 a 10 cm nas áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e no fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga (MG).....	136

Figura 26	Distribuição espacial do estoque de carbono (ton.ha^{-1}) no solo na profundidade de 10 a 20 cm nas áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e no fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga (MG).....	137
Figura 27	Estoque médio percentual em cada compartimento por categoria nas áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e do fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG	139
Figura 28	Diagrama de ordenação das parcelas e variáveis ambientais edáficas nos dois primeiros eixos de ordenação produzidos pela análise de correspondência canônica (CCA) dos valores de abundância das espécies distribuídas nas áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e do fragmento de Floresta Estacional Semidecidual (FRN) no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG	144

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Características estruturais e de composição das áreas distribuídas em categorias quanto aos níveis de perturbação diferenciados no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG. e de comunidades arbóreas amostradas em Florestas Estacional Semidecidual	84
Quadro 2	Valores de área (ha), abundância (N); riqueza específica (S); índice de diversidade de Shannon (H'); e equitabilidade de Pielou (J')	95
Quadro 3	Valores da análise descritiva e do teste de normalidade Shapiro Wilk para o estoque de carbono (ton.ha^{-1}) no estrato arbóreo das áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e do fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG.....	116
Quadro 4	Estoque de carbono no estrato arbóreo em florestas com diferentes idades, grau de degradação e fitofisionomia.....	119
Quadro 5	Valores da análise descritiva e do teste de normalidade Shapiro Wilk para o estoque de carbono na serapilheira acumulada (material não lenhoso - M_{NL}) das áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e do fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG.....	124
Quadro 6	Estoque carbono na serapilheira em florestas com diferentes idades, grau de degradação e fitofisionomia	125

- Quadro 7 Valores da análise descritiva e do teste de normalidade Shapiro Wilk para o estoque de carbono na serapilheira acumulada (material lenhoso) das áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e do fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG..129
- Quadro 8 Valores da análise descritiva e do teste de normalidade Shapiro Wilk para o estoque de carbono CO no solo (profundidade de 0 a 10 cm) das áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e do fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG133
- Quadro 9 Valores da análise descritiva e do teste de normalidade Shapiro Wilk para o estoque de carbono CO no solo (profundidade de 10 a 20 cm) das áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e do fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG133

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Caracterização das áreas de estudo no entorno da Usina Hidrelétrica de Camargos, MG	48
Tabela 2	Relação das principais espécies arbustivo-arbóreas utilizadas na restauração das áreas no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG	49
Tabela 3	Famílias e espécies da flora arbórea amostradas nas áreas de reflorestamento ambiental (R ₁ , R ₂ , R ₃ , R ₄ e R ₅) e fragmento natural (FRN) no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG	73
Tabela 4	Espécies arbóreas registradas em áreas com níveis diferenciados de perturbação no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG	88
Tabela 5	Espécies arbóreas registradas em áreas com níveis diferenciados de perturbação no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG	99
Tabela 6	Variáveis químicas e texturais do solo superficial (0-20 cm) coletadas nas parcelas permanentes instaladas nas áreas de reflorestamento ambiental, com diferentes níveis de perturbação, localizadas no entorno do reservatório de Camargo, em Itutinga, Minas Gerais.....	109

Tabela 7	Síntese das variáveis da estrutura fisionômica, das variáveis relacionadas à diversidade de espécies, da análise de correspondência canônica (CCA) e correlações internas (“intraset”) nos três eixos de ordenação para as espécies arbóreas das áreas de reflorestamento ambiental com diferentes níveis de perturbação no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG	112
Tabela 8	Estoque médio de carbono e percentual do estoque total em cada matriz e total médio por fragmento em cada matriz	138
Tabela 9	Síntese das variáveis relacionadas ao estoque de carbono, da análise de correspondência canônica (CCA) e correlações internas (“intraset”) nos três eixos de ordenação para as espécies arbóreas das áreas de reflorestamento ambiental com diferentes níveis de perturbação no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG.....	142
Tabela 10	Coefficientes de correlação de Pearson e sua significância (<i>p</i>) entre a abundância empregadas na CCA e as variáveis Riqueza, Área Basal, Diversidade, Estoque de carbono (0 a 10 cm), Estoque de carbono (10 a 20 cm), Estoque de carbono na serapilheira (material lenhoso) e Estoque de carbono na serapilheira (material não lenhoso) das áreas de reflorestamento ambiental com diferentes níveis de perturbação no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG.....	146

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	OBJETIVOS	25
2.1	Objetivo geral	25
2.2	Objetivos específicos	25
2.3	Hipótese	25
3	REFERENCIAL TEÓRICO	26
3.1	Restauração de ecossistemas florestais	26
3.2	Aspectos florísticos como base para projetos de restauração de ecossistemas	29
3.3	Os ecossistemas florestais e o estoque de carbono	31
3.4	Avaliação do processo de restauração em ecossistemas florestais	33
3.5	Efeito estufa e o papel da restauração de ecossistemas florestais	36
3.6	Quantificação do estoque de carbono	38
4	MATERIAL E MÉTODOS	44
4.1	Caracterização das áreas de estudo	44
4.2	Metodologia	52
4.2.1	Levantamento fitossociológico e florístico	53
4.2.2	Análise de solos	54
4.2.3	Estimativa do estoque de carbono no estrato arbóreo	55
4.2.4	Estimativa do estoque de carbono sobre o solo	56
4.2.5	Estimativa do estoque de carbono no solo	62
4.3	Análises estatísticas das variáveis	64
4.3.1	Caracterização da vegetação arbórea, aspectos estruturais, diversidade e similaridade florística	64
4.3.2	Análise estatística da fertilidade do solo	65
4.3.3	Distribuição de espécies arbóreas em áreas em processo de restauração em função das variáveis edáficas	65
4.3.4	Análise exploratória do estoque de carbono nos compartimentos das áreas em processo de restauração e do fragmento de vegetação nativa	66
4.3.5	Espacialização do estoque de carbono nos compartimentos das áreas em processo de restauração e do fragmento de vegetação nativa	67
4.3.6	Variografia	68

4.3.7	Krigagem.....	69
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
5.1	Caracterização da composição florística	71
5.2	Aspectos estruturais, similaridade florística e diversidade de espécies arbóreas	82
5.3	Diversidade florística	94
5.4	Similaridade florística entre as áreas em processo de restauração e o fragmento de vegetação nativa	95
5.5	Fertilidade do solo	107
5.6	Padrões de distribuição das espécies e de variáveis edáficas	110
5.7	Espacialização do estoque de carbono no estrato arbóreo das áreas em processo de restauração e no fragmento de vegetação nativa	116
5.8	Espacialização do estoque de carbono na serapilheira acumulada sobre o solo das áreas em processo de restauração florestal e no fragmento de vegetação nativa	123
5.8.1	Estoque de carbono no material não lenhoso (M_{NL})	123
5.8.2	Estoque de carbono no material lenhoso (M_L)	129
5.9	Estoque de carbono orgânico (CO) no solo	132
5.10	Estoque de carbono por compartimento	138
5.11	Padrões de distribuição das características estruturais, do estoque de carbono e de variáveis edáficas	139
6	CONCLUSÕES	148
	REFERÊNCIAS	150

1 INTRODUÇÃO

A degradação dos recursos naturais em função dos distúrbios ocasionados por construção de estradas, ferrovias, mineração, atividades agropecuárias e represas tem causado vários problemas ambientais (VOGEL; SCHUMACHER; TRUBY, 2006). Muitas dessas atividades, como no caso das áreas de empréstimo usadas na construção de represas, causam distúrbios intensos e a restauração desses ambientes costuma ser lenta e incerta. Todavia, essas áreas precisam de medidas de restauração e o estabelecimento de um ecossistema auto-sustentável está entre os objetivos a serem alcançados (RUIZ-JAEN; AIDE, 2005). Society for Ecological Restoration Science & Policy Working Group - SER (2012) define restauração ecológica como o processo de assistir a recomposição de ecossistemas degradados. A restauração ecológica é uma ciência de emergência com suas raízes nos projetos de restauração. Atualmente, os projetos procuram propor modelos de restauração baseados em conceitos ecológicos e sócio-econômicos, como forma de conduzir uma restauração efetiva.

No início da década de 90, verificou-se o crescente interesse, segundo Gandolfi (1991), por estudos sobre o processo de restauração de áreas degradadas com essências nativas. A implantação de projetos de restauração em maiores escalas fez com que aumentasse a necessidade por monitoramento no que se refere à sustentabilidade dessas áreas. Pesquisas baseadas em avaliação de comunidade florestal estabelecida com reflorestamentos ambientais que possibilitem o estabelecimento de padrões referenciais quanto aos aspectos estruturais, de diversidade florística e de processos ecológicos são, praticamente, inexistentes. Isso faz com que seja importante o desenvolvimento de estudos nessas áreas para que se possam estabelecer parâmetros que auxiliem na compreensão e comparação das diferentes áreas e suas relações com o meio

(RODRIGUEZ, 1998). Diante desses fatos, faz-se necessário entender como se dá a estabilidade das florestas, ou seja, como é o processo de ajuste dos ecossistemas aos regimes de distúrbios.

Avaliar a estabilidade e a resiliência desses projetos tem sido tarefa difícil (WHEATON, 2010). Não existe um parâmetro único capaz de diagnosticar a capacidade e a rapidez com que todas as variáveis de um ecossistema florestal retornem ao equilíbrio inicial após a ocorrência de distúrbios (GONZÁLEZ-CABÁN; FENN; SCATENA, 1995). Todavia, é oportuno ressaltar que se deve evitar que atribuições generalizadas e precoces de atividades sejam feitas sem que tenham a comprovação efetiva dos efeitos (RODRIGUEZ, 1998). Com base nas considerações feitas por Rodriguez (1998, p. 9) a “sustentabilidade deve refletir a capacidade do meio de continuar cumprindo com suas diversas funções em níveis que garantem às futuras gerações a oportunidade de no mínimo continuar usufruindo desses mesmos níveis atuais”. Para Ferreira (2009), a vegetação estabelecida deve sustentar um ecossistema capaz de manter os processos ecológicos, ou seja, capaz de regenerar, abrigar a fauna e reter carbono atmosférico de forma eficiente. Engel e Parrota (2008) afirmam que é no conhecimento da estrutura e na função do sítio restaurado que os restauradores devem nortear seus trabalhos.

The Society of Ecological Restoration International e demais autores (HOBBS; NORTON, 1996; SER, 2012) citam os principais atributos capazes de refletir a eficiência dos projetos de restauração florestal: (1) diversidade florestal; (2) estrutura florística; (3) presença de grupos funcionais capazes de fornecer estabilidade; (3) ambiente físico capaz de reprodução e sustentação da população; (4) integração da paisagem local; (5) eliminação de ameaças potenciais; (6) resiliência aos distúrbios naturais; e (7) auto-sustentabilidade. Faz-se importante também que os resultados das avaliações desses atributos sejam comparados com os de áreas de referência (SER, 2012).

A avaliação de muitos desses atributos requer estudos detalhados e por um longo período de tempo. Apesar da existência de estudos dos projetos de restauração, poucos têm sido estudados por períodos significativos do ponto de vista ecológico – décadas ou mais - (HOBBS; NORTON, 1996) e menos ainda utilizando uma ampla gama de critérios de avaliação como considerado. Para Ruiz-Jaen e Aide (2005), poucos estudos possuem os recursos necessários para avaliar e monitorar todos esses atributos. Segundo os autores, a fase de monitoramento da maior parte dos projetos de restauração raramente ultrapassa 5 anos. Nesse sentido, é fundamental a realização de monitoramento por um período maior de tempo para que se possam ter parâmetros mais apurados que auxiliem na compreensão e possibilitem a comparação de diferentes áreas em processo de restauração e suas relações com o meio.

A restauração das florestas tinha, até pouco tempo, como metas, restaurar uma série de serviços ambientais (BOTELHO; DAVIDE, 2002; ENGEL; PARROTA, 2003; PINTO et al., 2005), tais como funções de proteção aos recursos abióticos e, também, restabelecer a diversidade biológica e os processos ecológicos do ecossistema original que fora destruído. Atualmente, em função das ameaças advindas do aquecimento global, a fixação do carbono atmosférico passou também a ser apontado como importante benefício proporcionado por essas florestas (MELO; DURIGAN, 2006). Logo, um novo serviço passou a ser esperado das florestas: o papel das árvores como sumidouro de carbono (LAL; KIMBLE; STEWART, 1995; SANQUETA; BALBINOT; ZILLIOTTO, 2004). Com isso, surgiu uma nova demanda para as pesquisas sobre restauração de florestas: quantificar esse serviço ambiental prestado pelos diferentes modelos de plantio em diferentes situações ambientais (MELO; DURIGAN, 2006). No entanto, trabalhos incluindo estimativas dos diversos compartimentos da floresta (estrato arbóreo, serapilheira, solo etc.) e evidenciando o potencial dessas florestas em estocar carbono ainda são escassos,

embora começam a ser executados (BUFO, 2008). Entender e quantificar os estoques de carbono em áreas em processo de restauração é importante para o desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias para estabelecer modelos de plantio sustentáveis (PAIVA; REZENDE; PEREIRA, 2011). Esses levantamentos permitirão negociações sobre Reduções Certificadas de Emissão através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), uma das opções incluídas no Protocolo de Kyoto para abater as metas de redução de emissão de países industrializados.

Os contratos de crédito de carbono são, necessariamente, baseados nas taxas de incremento de biomassa e estoque de carbono os quais podem variar nos plantios florestais. Isso demanda pesquisa e estabelecimento de parâmetros e informações para cada localidade baseadas nas características da comunidade florestal estabelecida. A prioridade em pesquisas, atualmente, é mensurar o volume de carbono sequestrado pelos plantios florestais (HUANG et al., 2012). O mercado de crédito de carbono depende desse conhecimento e do estabelecimento de técnicas que apresentem precisão e aplicabilidade para o monitoramento da fixação de carbono pelas florestas plantadas (ROCHA, 2004). Além disso, essas informações são importantes no processo de restauração, pois, faz com que seja possível verificar se o projeto de recomposição dispensam intervenções ou se necessitam passar por interferências para acelerar o processo de sucessão e de restauração de suas funções (FERREIRA, 2009).

Verifica-se, portanto, que o processo de restauração de ecossistemas florestais é complexo e lento e que estudos de longo prazo, baseados em parâmetros indicadores eficientes, são fundamentais para se inferir sobre a qualidade dos métodos e modelos de restauração utilizados e sobre a sustentabilidade do ecossistema.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral com o presente estudo foi estudar o estoque de carbono e os atributos florísticos e edáficos dos ecossistemas florestais em processo de restauração, após 19 anos.

2.2 Objetivos específicos

- a) Descrever o compartimento arbóreo de cinco com níveis diferenciados de perturbação após 19 anos da implantação do processo de restauração;
- b) Analisar possíveis diferenças no processo de restauração de cinco áreas com diferentes históricos e níveis de perturbação;
- c) Quantificar e espacializar o estoque de carbono nos compartimentos (estrato arbóreo, serapilheira e solo) dos ecossistemas em processo de restauração.

2.3 Hipótese

O modelo de recomposição das áreas em processo de restauração implantado há 19 anos foi capaz de restabelecer as condições florísticas, edáficas e de estoque de carbono como em uma área intacta com vegetação nativa.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Restauração de ecossistemas florestais

A restauração ecológica é definida pela Society of Ecological Restoration - SER como um conjunto de práticas que visam à recuperação da integridade ecológica de um ecossistema que foi *degradado*, *danificado* ou *destruído* (OLIVEIRA; ENGEL, 2011). A restauração constitui-se de atividades que aceleram o retorno de um ecossistema a uma condição autossustentável, tendo como base o estabelecimento dos processos ecológicos (ENGEL; PARROTTA, 2003; SER, 2012).

A recuperação de áreas perturbadas e/ou degradadas é um processo de reversão baseado em um programa preestabelecido de uso do solo que pode chegar no nível de uma recuperação de processos biológicos – sendo assim chamada “*reabilitação*” –, ou mesmo aproximar-se muito da estrutura ecológica original – “*restauração*” (CUNHA et al., 2003). A restauração ecológica preza pelo retorno de uma área degradada e/ou perturbada à condição próxima da original, de forma que o aspecto estrutural e funcional do ecossistema seja semelhante aos da condição original (ENGEL; PARROTTA, 2003). A restauração ecológica consiste de uma série de atividades pré-estabelecidas que acelerem o retorno de um ecossistema a uma condição de sustentabilidade, tendo como base o estabelecimento e a manutenção dos processos ecológicos (ENGEL; PARROTTA, 2003; SER, 2012).

As causas dos distúrbios nos ecossistemas florestais podem ser antrópicas ou naturais. Estes fatores condicionam diferentes níveis de perturbação, que vão desde muito pouco (ecossistemas perturbados) até extremos (ecossistemas degradados). Os ecossistemas perturbados são aqueles que sofreram distúrbios, mas mantiveram um nível mínimo de resiliência, ou

seja, meios de regeneração biótica capaz de promover a autoregeneração (CARPANEZZI, 2005). Normalmente, os ecossistemas perturbados podem se restaurar naturalmente. Nesse caso, depende da intensidade dos agentes degradantes e o grau de resiliência (VALCARCEL; SILVA, 1997). Quando as magnitudes dos agentes causadores de distúrbios afetam a resiliência, fragilizando os ecossistemas, ações de restauração permitem acelerar os processos de restauração, promovendo o estabelecimento da regeneração natural e criando condições para a sua autossustentabilidade (ENGEL; PARROTTA, 2003). Ou seja, sem apoio externo, não há condições dos ecossistemas degradados se recuperarem (VALCARCEL; SILVA, 1997).

Os processos de restauração não devem ser vistos como um simples plantio de árvores. É fundamental considerar os processos ecológicos que atuam no desenvolvimento dos estágios sucessionais e contribuem para o estabelecimento de florestas sustentáveis (ENGEL; PARROTTA, 2003). Dessa forma, a restauração de ecossistemas florestais pode ser alcançada através do plantio de espécies facilitadoras da sucessão natural, em locais onde, a princípio, uma série de barreiras impede o desenvolvimento do processo.

A revegetação com espécies de rápido crescimento é uma das técnicas mais utilizadas, onde a sucessão ecológica é incentivada na busca de uma comunidade mais estável. Nesse processo, a sucessão ecológica é incentivada na busca de uma comunidade mais estável, uma paisagem harmoniosa e ecologicamente autossustentável (GRIFFITH; DIAS; JUCKSCH, 1994). Para que o modelo seja implantado é necessário a identificação das condições locais e o levantamento do histórico de degradação e/ou perturbação (HOBBS; NORTON, 1996).

No Brasil, muitas espécies plantadas em áreas degradadas e/ou perturbadas são exóticas, destacando-se as *Acacias* por serem rústicas e agressivas. Esse é um gênero tolerante a solos pobres e de rápido crescimento

(CHEN, 2011). Por ser de rápido crescimento e significativa capacidade de adaptação às condições edafoclimáticas brasileiras, essa espécie representa uma boa opção silvicultural para o Brasil (DIAS; ALVAREZ; BRIENZA JÚNIOR, 1991; MARTINS et al., 2012). Segundo Hagiwara et al. (2012), é uma espécie da família das leguminosas que possui simbiose com rizóbios e capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico. Devido ao seu crescimento rápido e a produção de madeira de alta qualidade a *Acacia mangium* tem sido comumente plantada em regiões tropicais. Para Jesus e Rolim (2005), nas fases iniciais dos processos, deve-se considerar o uso de espécies exóticas, pois elas contribuem para a melhoria das condições do ecossistema, agregam propriedades emergentes e permitem o estabelecimento de espécies exigentes. Todavia, a presença de uma cobertura vegetal pode nem sempre significar a restauração do ecossistema. Para atingir os objetivos da restauração é necessário recuperar as funções e a forma do ecossistema. Faz-se necessário ainda que uma comunidade evolua e a sucessão natural ocorra, o que é conseguido por meio dos processos ecológicos (FERRETI, 2005).

Os processos ecológicos são as interações entre os organismos e estes com o ambiente, constituindo-se a base para a manutenção de um ecossistema (SER, 2012). Os organismos interagindo com o ambiente produzem estruturas funcionais. Ou seja, a partir da ciclagem de matéria, estabelecem-se os processos de manutenção e crescimento, interrelacionados por dependências e interações (LARCHER, 2004).

Todos os processos ecológicos dos ecossistemas são sustentados pelas interações de componentes bióticos (flora, fauna e microrganismos) e abióticos (água, clima, solo ou substrato, relevo, altitude, declividade etc.) (SER, 2012). Segundo os autores, há interações entre plantas/plantas, plantas/microrganismos e plantas/animais as quais são capazes de potencializar os processos de restauração (REIS; KAGEYAMA, 2003).

3.2 Aspectos florísticos como base para projetos de restauração de ecossistemas

A análise da vegetação revela muitas informações pertencentes aos componentes do ecossistema que podem ser utilizadas como referência no processo de recuperação. Isso vem ao encontro à afirmação de Oliveira Filho (1994) de que estudos sobre a composição florística são essenciais para fundamentar iniciativas de recuperação e conservação de ecossistemas florestais. Podem ser definidos níveis desejáveis de parâmetros estruturais da comunidade (p.e. densidade, diversidade de espécies, equabilidade, dominância, entre outros) (HOBBS; NORTON, 1996) que se tornariam metas a serem atingidas nos projetos de recuperação. Diferenças e/ou semelhanças entre áreas geograficamente próximas e/ou floristicamente parecidas podem ser abordadas com dados quantitativos fornecidos por levantamentos fitossociológicos, pois diferenças quantitativas entre áreas podem ser muito mais marcantes que diferenças florísticas. Logo, o interesse em ações de monitoramento associadas à restauração aumentou nos últimos anos e tem despertado muita discussão em nosso meio, fruto da necessidade que o tema tem merecido (FERREIRA, 2009; PINTO et al., 2005). Isso se deve ao fato de que estudos fitossociológicos podem auxiliar nas estratégias de restauração, permitindo identificar a estrutura da vegetação e servindo como base para a identificação de espécies a serem utilizadas em arranjos, considerando as condições ambientais (OLIVEIRA FILHO, 1994).

Uma análise criteriosa da vegetação revela uma gama de informações pertencentes aos componentes do ecossistema. Estudos detalhados sobre a composição florística das florestas possibilitam embasar iniciativas de desenvolvimento de modelos que propiciam a regeneração e sucessão florestal, dando subsídios para a recomposição da vegetação nas margens de rios, córregos

e nascentes e manejo dos ecossistemas, como nos estudos de Oliveira Filho (1994) e Viani, Durigan e Melo (2010).

Estudos conduzidos em formações naturais têm demonstrado que comunidades arbóreas apresentam variação espacial em função da heterogeneidade ambiental, provocada por diferentes condições edáficas (HIGUCHI et al., 2008), pelo efeito de borda (OLIVEIRA FILHO; MELLO; SCOLFORO, 1997), pelo regime de enchentes (APPOLINÁRIO; OLIVEIRA-FILHO; GUILHERME, 2005), além dos distintos históricos de perturbações (KAGEYAMA; GANDARA; OLIVEIRA, 2003; RODRIGUES; GANDOLFI, 2000). A caracterização das relações entre as variáveis edáficas, ecológicas e de conservação com a estrutura e composição da vegetação proporciona a elaboração e o aperfeiçoamento dos modelos de recuperação ambiental (DUARTE; CASAGRANDE, 2006; JACOMINE, 2000; OLIVEIRA FILHO et al., 1994a, 1994b, 1994c; OLIVEIRA FILHO; MELLO; SCOLFORO, 1997; REIS-DUARTE et al., 2002a, 2002b; RODRIGUES; GANDOLFI, 2000). Em áreas degradadas, esses estudos auxiliam ainda na verificação da eficiência das intervenções destinadas à reabilitação dos ecossistemas, além de elucidar o grau de estabilidade das áreas (TILMAN, 1996).

Dentre os levantamentos fitossociológicos das comunidades arbóreas realizados na região do Sul de Minas, destacam-se os realizados por Botrel et al. (2002), Carvalho et al. (1995), Espírito-Santo et al. (2002), Gavilanes et al. (1992), Oliveira Filho et al. (1994c) e Souza et al. (2002). Estes trabalhos contribuem significativamente para o processo de investigação destes mecanismos e auxiliam no planejamento da restauração e manutenção dos fragmentos ainda existentes (SILVA et al., 2003). De qualquer modo, é bom destacar que apesar da existência desses trabalhos consistentes existe a questão da heterogeneidade do ambiente físico. Nesse sentido, estudos sobre a eficácia dos plantios para promover a restauração de ecossistemas florestais ainda são

bem vindos (BERG; OLIVEIRA FILHO, 2000; MELO; DURIGAN, 2007). De qualquer modo, para enfrentar esse desafio é importante o estabelecimento de prazos realistas e critérios confiáveis capazes de promover avaliações dos esforços empregados (CLEWELL; RIEGER, 1997).

3.3 Os ecossistemas florestais e o estoque de carbono

Recentemente, um novo serviço ambiental passou a ser esperado das florestas: o papel das árvores como sumidouros de carbono. Surgiu, assim, uma nova demanda direcionada para as pesquisas sobre restauração de florestas: quantificar esse serviço ambiental prestado pelos diferentes modelos de plantio em diferentes situações e discutir a eficácia dessa estratégia na redução CO₂ atmosférico. Projetos de recuperação de áreas degradadas e recomposição de matas ciliares são elegíveis para receberem os certificados de Redução de Emissão (CREs) pela possibilidade de reduzir a concentração de CO₂ na atmosfera e diminuir o efeito estufa além de proporcionar benefícios ambientais (SANQUETTA; BALBINOT; ZILLIOTTO, 2004). O mercado de créditos de carbono depende da proposição de técnicas que apresentem uma combinação ótima de precisão e aplicabilidade para o monitoramento da fixação de carbono pelas florestas (ROCHA, 2004). Contratos de crédito de carbono serão, necessariamente, baseados nas taxas de incremento em biomassa, as quais são altamente variáveis para plantios florestais, essencialmente em função das espécies plantadas e das condições de clima e solo.

A partir do estabelecimento dos mecanismos de flexibilização no Protocolo de Quioto, o foco da discussão migrou para o sequestro de carbono pelas florestas. As florestas oferecem grande potencial para remoção de CO₂ atmosférico. Ao contrário das plantas de ciclo de vida curto que morrem e se

decompõem rapidamente, as árvores são indivíduos de ciclo de vida longo que acumulam carbono em sua biomassa (FEARNSIDE; GUIMARÃES, 1996).

O sequestro de carbono refere-se à forma natural dos organismos vegetais de fixar o CO₂ em forma de matéria lenhosa. As folhas constituem-se na via principal de entrada de carbono para o ecossistema (ADUAN; VILELA; KLINK, 2003). É por meio do processo da fotossíntese que o carbono passa a fazer parte da biomassa. Na presença da luz, as plantas retiram o dióxido de carbono, usam o carbono para crescer e retornam o oxigênio para a atmosfera. Em suma, a fotossíntese é caracterizada pelo processo em que, as plantas verdes com a ação da luz solar transforma energia luminosa em tecido vivo. Esse tecido é denominado biomassa ou matéria orgânica.

As florestas trocam CO₂ com o ambiente por meio de processos como fotossíntese, respiração, decomposição e emissões associadas a distúrbios como fogo, o desfolhamento por diversas causas e à exploração florestal. De qualquer modo, uma plântula ao se desenvolver absorve o CO₂ da atmosfera, fixa o carbono em seus tecidos e aumenta sua biomassa. É um processo de mitigação biológica das plantas de absorver grande quantidade de CO₂ do ar e fixá-lo em forma de matéria lenhosa em sua estrutura orgânica. Sabe-se que as formações vegetais desempenham um importante papel no ciclo do carbono. Os estoques de carbono das florestas amazônicas e nos solos têm sido mais estudados. Todavia, ainda há incertezas e variações para esses reservatórios. Segundo a literatura há uma variação de 150 a 425 ton.ha⁻¹ para biomassa aérea e de 73 a 98 ton.ha⁻¹ no solo (BROW et al., 1995). Dessa forma, o interesse pelos estudos acerca da biomassa e do conteúdo de carbono estocado ainda é crescente e podem ser citados estudos para o Cerrado (REZENDE, 2002), Floresta Estacional Decidual (BRUN et al., 2003); Floresta Ombrófila Mista Montana (WATZLAWICK et al., 2002); Floresta tropical úmida (GOLLEY et al., 1978) e para a Amazônia (FEARNSIDE, 2001; HIGUCHI et al., 1998; LAURENCE et al., 1999).

As mudanças no uso e ocupação do solo causam perturbações nos ecossistemas capazes de influenciar o estoque e o fluxo do carbono. Todavia, é possível reduzir essas emissões de CO₂ e, com isso, mitigar as mudanças climáticas. Uma das formas é por meio do sequestro de CO₂ baseado em técnicas de reflorestamento. Nesse caso, as florestas apresentam um grande potencial (WATZLAWICK et al., 2002), devido à sua capacidade de transformá-lo em biomassa por meio da fotossíntese.

A biomassa pode acumular, em sua estrutura carbônica, poluentes nocivos à qualidade de vida no planeta (SANQUETTA; BALBINOT; ZILLIOTTO, 2004). Logo, os reflorestamentos são vistos como uma forma de mitigar o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera em função da eficiência das árvores em sequestrar carbono (SANDS; RAWLINS; BATTAGLIA, 1999). Os ecossistemas florestais apresentam-se como a melhor fonte de sumidouro de carbono para o controle das mudanças climáticas, pois além de estocar parte do carbono sequestrado da atmosfera no sub-bosque e na serapilheira por meio de seus tecidos (MIRANDA, 2008), devolvem parte ao solo florestal por meio da queda do de serapilheira. Logo, o estudo do carbono assume grande importância e uma estreita relação com as mudanças climáticas da Terra (NOVAES FILHO et al., 2007).

3.4 Avaliação do processo de restauração em ecossistemas florestais

No Brasil, ainda são escassos e recentes os estudos sobre a eficácia dos plantios associadas à restauração de ecossistemas florestais (FERREIRA, 2009; MELO; DURIGAN, 2007; OLIVEIRA; ENGEL, 2011; PINTO et al., 2005). Ainda não se pode afirmar se esses reflorestamentos conseguirão constituir um novo ecossistema capaz de se regenerar e abrigar a fauna como as florestas naturais.

Uma grande lacuna existente nesta área de conhecimento refere-se ao estabelecimento de parâmetros de avaliação e monitoramento capazes de verificar a qualidade dos reflorestamentos, bem como indicar a capacidade de resiliência em áreas implantadas quanto à capacidade de se regenerarem e abrigar a fauna de modo similar às florestas naturais (VIANI; DURIGAN; MELO 2010).

A defasagem de informações científicas torna-se acentuada quando ponderada a restauração de ecossistemas florestais em trechos drasticamente impactados, como as áreas de empréstimo (BARBOSA, 2006). Essas áreas constituem-se em ecossistemas degradados que tiveram eliminado, juntamente com a vegetação, os seus meios bióticos de regeneração como o banco de sementes, banco de plântulas, chuvas de sementes, rebrota e, camada fértil do solo (horizonte A) (FERREIRA et al., 2007). Isso causa problemas edáficos como compactação do material exposto, baixas taxas de infiltração e capacidade de armazenamento de água, deficiência de oxigênio, alta resistência à penetração de raízes, aumento da densidade do solo e falta de matéria orgânica (ALVES; SOUZA, 2011; INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS RENOVÁVEIS - IBAMA, 1990; MOREIRA, 2004). Apresentam, portanto, diminuição da sua resposta a novos distúrbios, podendo chegar a um ponto em que o ecossistema entra em colapso com processos irreversíveis de degradação (ENGEL; PARROTA, 2003). Para a recuperação, é preciso selecionar e identificar espécies aptas às novas condições edáficas e que acelerem a estruturação e a formação dos horizontes mais superficiais do solo (GONÇALVES; NOGUEIRA JÚNIOR; DUCATTI, 2008).

O aspecto geral da vegetação e o porte dos indivíduos arbóreos podem ser critérios de fácil julgamento. Mas, para a avaliação do sucesso de um programa de revegetação se faz necessário o emprego de outros parâmetros capazes de fornecer informações sobre a eficiência da cobertura vegetal na

proteção dos solos e a produtividade dos ecossistemas estabelecidos (REIS; KAGEYAMA, 2003). A avaliação do potencial de recuperação ambiental pode ser feito com base no estabelecimento de parâmetros comparativos do comportamento das espécies existentes em ecossistemas estáveis e conservados. Isso nos permite avaliar a qualidade dos reflorestamentos estabelecidos bem como a sua capacidade de resiliência (FERREIRA, 2009; MELO; DURIGAN, 2007; OLIVEIRA; ENGEL, 2011; PINTO et al., 2005). Como referência para essas análises é comum a utilização de informações de uma vegetação nativa e com o mínimo de distúrbio antropogênico (KAGEYAMA, 1986).

O monitoramento das comunidades florestais estabelecidas deve ser efetuado no sentido de permitir a criação de uma base de dados que possibilite avaliar, refinar e fazer correções das estratégias prescritas para a restauração dessas áreas. Acredita-se que a medida que se conheça melhor essas ferramentas, as mesmas possam ser mais bem aplicadas.

A avaliação das atividades de restauração ambiental desenvolve-se a partir da seleção e análise de um conjunto de indicadores, tais como características físicas, químicas e biológicas do solo (RODRIGUES; GANDOLFI, 2000; DUARTE; CASAGRANDE, 2006). A estrutura da vegetação de uma comunidade é um dos atributos mais utilizados para avaliar a restauração (HOBBS; NORTON, 1996). A composição e a estrutura das florestas secundárias variam em função da idade, localização e histórico de perturbação (BROWN; LUGO, 1994).

Uma das estratégias amplamente usadas refere-se à análise dos dados por meio de ordenações multivariadas (PINTO et al., 2005; SOUZA et al., 2001). Essas análises são procedimentos usados para explorar padrões da relação vegetação-ambiente (FELFILI, 2007) e são recomendadas quando o objetivo é obter uma visualização mais estreita da relação entre as variáveis ambientais e a abundância das espécies (DYGBY; KEMPTON, 1996). Nesse sentido, soma-se

a necessidade da presença de uma ou mais áreas que possam ser usadas como referenciais (TRASAR-CEPEDA et al., 1998). Alguns estudiosos consideram que ecossistemas primitivos, sem nenhuma evidência de perturbação, são os ideais. De qualquer modo, deve ser considerado restaurado, um ecossistema que tiver atingido o nível esperado de biodiversidade, funcionamento e autosustentabilidade (DURIGAN, 2011).

3.5 Efeito estufa e o papel da restauração de ecossistemas florestais

O aumento acelerado da concentração de Gases de Efeito Estufa (GEEs) na atmosfera, como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), clorofluorcarbono (CFC), entre outros, tem causado preocupação mundial quanto às conseqüências futuras. O dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o dióxido de nitrogênio (N_2O) são os gases que respondem juntos por 88% do efeito estufa. Isso acentuou a preocupação dos cientistas a respeito das mudanças climáticas, acarretando aumento nas discussões e no desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao tema. A ONU vem debatendo o tema em conferências internacionais e, como resultados desses debates, os tratados internacionais definiram normas para a adoção de estratégias destinadas a mitigar as possíveis mudanças climáticas e vários instrumentos de mercado foram propostos para auxiliar os países industrializados a reduzirem suas emissões de GEE.

Segundo o Painel Intergovernamental de mudanças do Clima (IPCC), o CO_2 é o principal responsável pelo aquecimento global, sendo o gás mais emitido pelas atividades humanas. No Brasil, estas emissões estão amplamente ligadas ao desmatamento, principalmente da Floresta Amazônica. Em 1995, o Brasil encontrava-se na 21ª posição. Porém, ao incluir as queimadas e desmatamentos, o Brasil passa a estar entre os seis primeiros emissores de GEEs

(REZENDE; FELFILI, 2004). O país se vê pressionado a assumir compromissos de redução das emissões de GEE.

O potencial brasileiro é muito grande, existindo uma grande expectativa nesse novo mercado. O clima tropical predominante e a grande extensão territorial contribuem para que os plantios florestais de rápido crescimento apresentem taxas altas de crescimento vegetativo, acrescidos, ainda, da disponibilidade de mão-de-obra e tecnologia apropriada para a produção florestal (ROCHA, 2004). Observa-se que devido ao crescimento vigoroso das árvores nos trópicos, 1 ha desta floresta sequestra muito mais CO₂ do que 1 ha de floresta temperada.

Diante desse contexto, o setor florestal desponta como uma das alternativas viáveis para mitigar o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera via fixação do carbono (C) pelos vegetais. Nesse sentido, destacam-se os reflorestamentos em áreas degradadas com espécies de rápido crescimento em regiões tropicais como uma das mais promissoras formas de redução de CO₂ atmosférico (HOUGHTON, 1994).

Nesse sentido, as atividades de reflorestamento tornam-se uma opção viável para mitigar os problemas causados pela elevada taxa de emissão do CO₂. Com isso, surge a necessidade de recuperar as áreas degradadas e/ou perturbadas com o plantio de essências florestais (BARBOSA, 2006).

Os estudos baseados em monitoramento de reflorestamentos com níveis diferenciados de perturbação que possibilitem a adequação de modelos de recuperação, fixação de biomassa estocada e teor de carbono são, praticamente, inexistentes (BUFO, 2008). A escassez desses dados é resultado de dificuldades logísticas referentes ao trabalho de campo. Além disso, dos estudos existentes muitos estão restritos a pesquisas pontuais (HIGUCHI; CARVALHO JÚNIOR, 1994).

As estimativas de biomassa são de relevância devido à sua contribuição aos estudos de mudanças climáticas globais (SCHUMACHER et al., 2003). O conhecimento dos teores de carbono presentes na biomassa possibilita entender melhor o armazenamento de carbono da atmosfera pelas florestas (WATZLAWICK et al., 2002). Todavia, a diversidade de comportamentos associada às inúmeras possibilidades de interferências do meio no desenvolvimento (sucessão) e na dinâmica da floresta, compõe um quadro complexo, cujas ferramentas para essas análises ainda estão em desenvolvimento (ALMEIDA; AMARAL; SILVA, 2004). De qualquer modo, estudos de fixação de carbono sem avaliação concisa de biomassa e trabalho de interrelação entre as frações do ecossistema florestal com os teores de carbono conduz a informações sem valor científico (WATZLAWICK et al., 2002). Em razão disso, a sociedade demanda dos profissionais que atuam na área florestal a geração de conhecimentos e determinações acuradas do montante de carbono acumulado nas florestas implantadas. Isso faz com seja crescente o interesse pelos estudos do conteúdo de carbono nas florestas, motivando muitos cientistas e instituições em ampliar os estudos sobre o tema (SANQUETTA et al., 2002). Geralmente, as pesquisas sobre o carbono em áreas florestais englobam os diversos compartimentos: (i) parte aérea: Kirman e Strasberg (2007); (ii) serapilheira: Kirman e Strasberg (2007); (iii) raízes: Laclau (2003) e (iv) solo: (MAFRA et al., 2008).

3.6 Quantificação do estoque de carbono

Historicamente, as avaliações florestais tinham como objetivo inventariar o potencial de uma floresta levando em consideração apenas o aspecto das reservas de madeira. Os inventários dos anos 60 e 70 se restringiam ao volume de madeira em tamanho comercial (consideravam apenas árvores

com DAP > 25 cm) e, por serem exploratórios, serviam para estudo de viabilidade de projetos de desenvolvimento (HIGUCHI; CARVALHO JÚNIOR, 1994). Atualmente, estudos visando à estimativa da biomassa acumulada pelas florestas vêm despertando interesse de muitos autores. Para Miranda (2008) é porque essa prerrogativa interfere diretamente no armazenamento de CO₂ estocado.

O volume de biomassa florestal é o fator controlador do estoque de carbono global e sua estimativa é necessária para entender produtividade, alocações de nutrientes e ciclos de carbono nos indivíduos ou nos ecossistemas (HIGUCHI; CARVALHO JÚNIOR, 1994; SILVEIRA, 2008; VOGEL; SCHUMACHER; TRUBY, 2006). Sendo assim, é necessário desenvolver estudos quanto a métodos de quantificação, nos diversos componentes da planta, que possibilitem uma melhor compreensão do seqüestro e armazenamento de carbono da atmosfera pelas florestas (WATZLAWICK et al., 2002). Os resultados desses estudos são difíceis de serem comparados, pois envolvem diferentes tipos de florestas, sítios, sistemas de manejo etc. De qualquer modo, os métodos utilizados para a determinação de biomassa variam de acordo com os objetivos a serem alcançados de cada estudo e com o tipo de povoamento, podendo ser realizados de forma indireta ou direta.

Para estimar a biomassa e quantificar o estoque de carbono em plantios florestais, há métodos que vão desde a análise destrutiva com o abate das árvores (métodos diretos) e não destrutiva (métodos indiretos) até a estimativa por processamento digital de imagens por satélites (BROWN; GILLESPIE; LUGO, 1989; BROWN; LUGO, 1994).

A estimativa de biomassa pelo método indireto é conhecida como método não destrutivo (SANQUETTA; BALBINOT; ZILLIOTTO, 2004). É um método que facilita o trabalho de campo e diminui o custo com coleta de dados (DAP, altura etc.). Consiste em correlacionar a biomassa com alguma variável

de fácil obtenção e que não requeira a destruição do material vegetal. Nesse caso, a determinação de biomassa florestal baseia-se na utilização de equações alométricas previamente estabelecidas. Para tanto, faz-se necessário a escolha da equação mais adequada para a zona climática e a classe de diâmetro.

Muitos trabalhos têm sido realizados de forma indireta por meio das estimativas de volume e biomassa. Essas estimativas são convertidas em quantidades de carbono pela utilização de fator de expansão de biomassa (*biomass expansion factor* - BEF) (BROWN; LUGO, 1994) o qual é amplamente recomendado como forma de estimar a biomassa florestal e armazenamento de carbono com a conversão de volume comercial a massa (BROWN; LUGO, 1984), baseando-se em medições diretas em campo (BROWN; GILLESPIE; LUGO, 1989).

Alguns cuidados devem ser tomados na sua aplicação, a fim de se evitar erro significativo no cálculo da biomassa: análise criteriosa das situações de campo (ex. árvores ocas) e a amostragem representativa da área. Esse método é considerado uma alternativa precisa em muitos casos em detrimento do método direto. No entanto, vale mencionar que estudos que exigem o dado de altura da árvore pode resultar em erros consideráveis, por causa do efeito de pequenas imprecisões nessa medida.

A eficácia da amostragem do estoque de carbono na vegetação pode ser aumentada com a incorporação de um modelo de variabilidade espacial (BRUS, 1993). Como o estoque de carbono não é uniforme em todas as áreas, torna-se importante avaliar também a sua distribuição espacial. Tal fato, fez com que as análises estatísticas convencionais fossem substituídas por análises geostatísticas pelo semivariograma (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989) e da dependência espacial (BRUS, 1993; SOUZA, 2001), complementando os métodos de inventário florestal, levando tais trabalhos a silvicultura de precisão.

O conhecimento de determinada característica em locais não amostrados pode ser feita por krigagem. Essa é uma técnica usada na geoestatística com os pesos atribuídos de acordo com a variabilidade espacial expressa no semivariograma. A krigagem se comporta como um interpolador ótimo, pela maneira como os pesos são distribuídos, não sendo tendenciosos, apresentando variância mínima, possibilitando o conhecimento da variância da estimativa (WEBSTER; OLIVER, 1990).

A geoestatística tem como base o semivariograma (VIEIRA et al., 1983), o qual é um método geoestatístico capaz de permitir a descrição da dependência espacial das características avaliadas, ou seja, diagnosticar a presença da correlação espacial entre as unidades amostradas (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989; WEBSTER; OLIVIER, 1990).

A análise variográfica permite avaliar as medidas de posição e de dispersão dos estoques de carbono nos compartimentos estudados. O semivariograma constitui-se no instrumento que mede as semelhanças, mostrando se há ou não autocorrelação espacial entre os pontos amostrados. O ideal é que a semivariância $\hat{\gamma}(h)$ cresça com a distância entre os pontos amostrados, alcançando um valor mais ou menos constante (patamar) para determinada distância de separação, denominada alcance da dependência espacial (SOUZA et al., 2001).

A espacialização do estoque de carbono tem consequências práticas, ou seja, permite compreender como o estoque de carbono se distribui nas áreas, indicando quais as partes dos fragmentos apresentam o maior estoque de carbono e, conseqüentemente, os locais que necessitam de interferências mais específicas e práticas de manejo quanto à sustentabilidade. Além disso, o uso da geoestatística no estudo fornece subsídios para o planejamento de futuros experimentos em outras áreas com condições semelhantes. Todavia, estudos que

quantifiquem a capacidade de fixação de carbono pelas florestas de restauração usando metodologia semelhante ainda são escassos.

A krigagem é um interpolador estatístico que estima valores em pontos não amostrados a partir de informações dos pontos amostrados. O efeito pepita reflete a descontinuidade entre valores separados por distâncias menores que o usado no intervalo de amostragem. Ela representa a variância não explicada, que pode ser devida a erros de medidas ou microvariação não detectada. Quando o semivariograma for constante e igual ao patamar, para qualquer valor de h , tem-se um efeito pepita puro ou ausência total de dependência espacial. Isso significa que o alcance, para os dados em questão, é menor do que o menor espaçamento entre amostras, apresentando uma distribuição espacial completamente aleatória.

Deve-se levar em consideração o efeito pepita observado (CAMBARDELLA et al., 1994). Por esse critério, quanto menor a proporção do efeito pepita em relação ao patamar do semivariograma, maior a continuidade do fenômeno e maior a dependência espacial apresentada pela variável (NOVAES FILHO et al., 2007). Segundo Souza et al. (2001), amostras separadas por distâncias menores do que os valores do alcance são correlacionadas uma às outras e, para distâncias maiores que o alcance, apresentam distribuição espacial aleatória, sendo, portanto, independentes entre si.

No método direto as parcelas costumam vir de pequenas parcelas, em pequeno número e selecionadas de forma intencional (BROWN; GILLESPIE; LUGO, 1989). Isso pode introduzir erros de tendência nas estimativas, o que pode levar a super ou subestimar a biomassa da área (RIBEIRO et al., 2009). Uma das maneiras de se estimar a biomassa e o carbono florestal é usando modelos matemáticos (MIRANDA, 2008) que permitem realizar predições presentes e futuras. Para isso, uma variedade de modelos de regressão vem sendo utilizada para essas estimativas, seja para árvores, seja para seus componentes separadamente. As equações de biomassa mais comumente

utilizadas são do tipo linear e não linear. Essas equações têm produzido uma boa descrição da relação existente entre o diâmetro à altura do peito e a biomassa das árvores (MIRANDA, 2008; SILVEIRA, 2008).

As equações de biomassa podem ter muitas formas, sendo que as mais comumente utilizadas são as do tipo linear e não linear (CROW; SCHLAEGEL, 1988; MIRANDA, 2008). Os modelos não lineares produzem estimativas mais precisas do que os lineares (SANTOS, 1996), além de serem flexíveis e confiáveis para esse tipo de análise (REGAZZI; LEITE, 1993). No entanto, segundo Crow e Schlaegel (1988) a maioria dessas equações de regressão para biomassa é desenvolvida para sítios específicos, não sendo aconselhável sua utilização para outras áreas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização das áreas de estudo

A pesquisa foi conduzida em seis áreas localizadas a montante e a jusante da barragem da Usina Hidrelétrica da Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, na margem direita do rio Grande, no município de Itutinga, MG (Figura 1). Nessa região, foram selecionados cinco ecossistemas florestais em processo de restauração (Figura 2) e um fragmento de vegetação nativa, observando-se os critérios de classificação por categoria de acordo com as particularidades e níveis diferenciados de perturbação.

A vegetação natural da região se constitui de áreas com formações florestais e formações campestres. O clima das áreas de estudos é de transição entre Cwa e Cwb, de acordo com a classificação climática de Köppen (ANTUNES, 1986). A temperatura média do mês mais frio é inferior a 18 °C e a do mês mais quente é superior a 22 °C. A precipitação média anual é de 1.529,7 mm, com o período de maior precipitação (83,25%) compreendido entre os meses de outubro e março.

Dentre as áreas estudadas, cinco são áreas de reflorestamento ambiental em processo de restauração há 19 anos. Cada área apresenta históricos de uso e nível de perturbação diferenciado, os quais são descritos na Tabela 1 e na Figura 3. Uma das áreas da categoria DE trata-se de área de empréstimo de terra. Essas áreas são destinadas à exploração e o volume de solo retirado depende tanto quanto a barragem demandar. Na operação da construção da UHE Camargos foi feita a remoção da camada de solo com equipamentos pesados e, o solo remanescente apresentou-se compactado, com um coeficiente de infiltração muito baixo, formando bacias bastante susceptíveis à erosão, além de possuir uma fertilidade muito baixa. Posteriormente, essa área sofreu reafeiçoamento e

atividades com a finalidade de promover a sua restauração para reverter esta área degradada em autossustentável.

Na fase de implantação do processo de restauração foram aplicadas práticas mecânicas como a construção de terraços em nível e práticas vegetativas (BOTELHO et al., 1995; DAVIDE; SCOLFORO; FARIA, 1993a). Foi realizado o plantio de espécies florestais no espaçamento de 1,5 x 3,0 m e o arranjo utilizado foi em quincôncio, com base nos princípios de sucessão secundária (DAVIDE; SCOLFORO; FARIA, 1993b). O conjunto de espécies utilizado no plantio encontra-se na Tabela 2.

Esses plantios são experimentos os quais fazem parte de uma série de estudos desenvolvidos pelo Projeto Mata Ciliar que iniciou-se em 1990, com um convênio entre a Universidade Federal de Lavras (UFLA) e a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), através do Convênio CEMIG/UFLA/FAEPE. O objetivo com aquele projeto foi o da geração de tecnologia em recomposição de matas ciliares às margens dos reservatórios e rios de Minas Gerais.

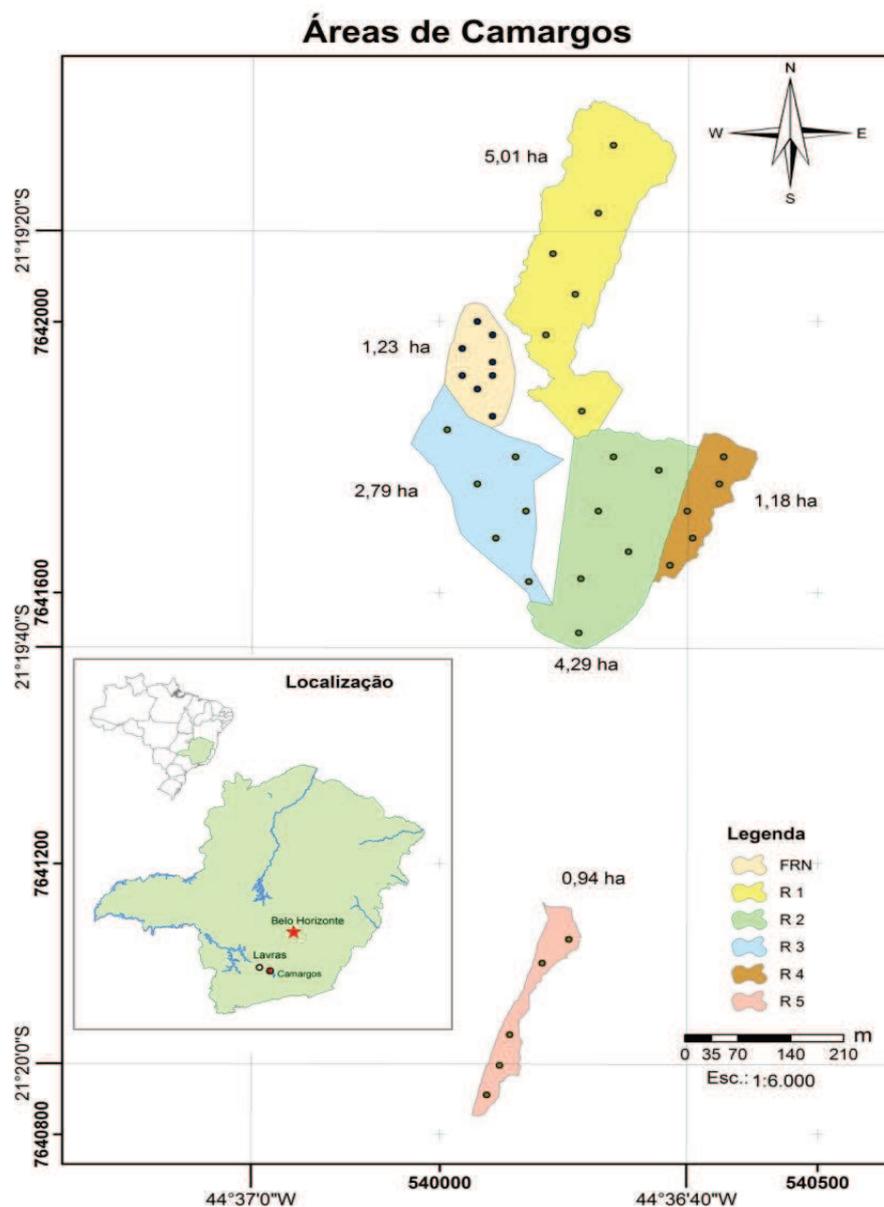


Figura 1 Localização geográfica das áreas de reflorestamento ambiental e do fragmento e distribuição das unidades amostrais no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG

Nota: FRN = Fragmento de vegetação nativa e R₁, R₂, R₃, R₄, R₅ = Áreas em processo de restauração.

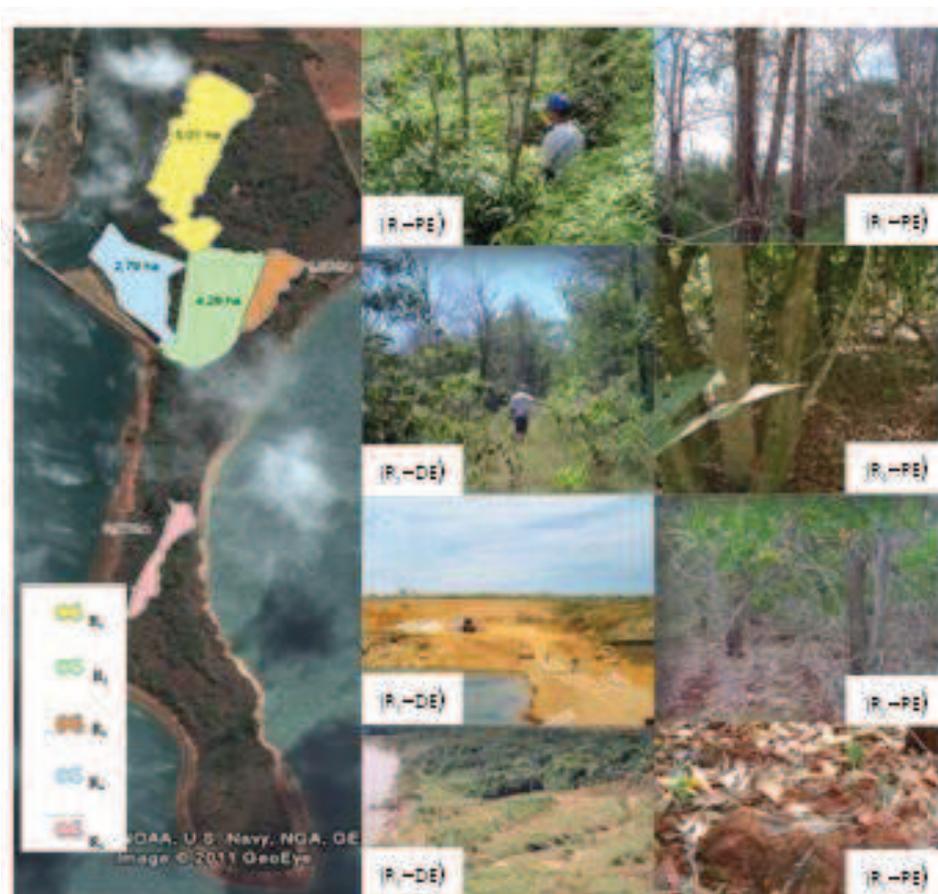


Figura 2 Detalhamento das áreas em processo de restauração no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG

Tabela 1 Caracterização das áreas de estudo no entorno da Usina Hidrelétrica de Camargos, MG

LOCAL	HISTÓRICO DE USO	CÓDIGO	ÁREA (m ²)
Degradada (DE)	Áreas com níveis intensos de alteração, processos erosivos acentuados, movimentação de máquinas pesadas durante as obras de construção da UHE, resultando em perda da capacidade de repor matéria orgânica do solo, de nutrientes, biomassa, estoque de propágulos etc. A cobertura vegetal foi destruída, houve perda da camada fértil do solo, horizonte C exposto e resiliência afetada.	R₂	42.900
			Área usada como aeroporto na época da construção da Usina
		R₃	11.800
			Área de empréstimo
Perturbada (PE)	Distúrbio moderado a leve com remoção da vegetação original, sem intervenção no solo.	R₁	50.100
			Área utilizada como depósito de material na época de construção da Usina
		R₄	27.900
			Área sem qualquer obra ou trânsito de veículos
		R₅	9.400
			Área de campo
Conservada (CON)	Área de Floresta Estacional Semidecidual	CON	10.200
			Área usada como referência

Tabela 2 Relação das principais espécies arbustivo-arbóreas utilizadas na restauração das áreas no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG

NOME CIENTÍFICO	NOME VULGAR	FAMÍLIA
<i>Acacia auriculiformis</i>	Acacia auriculiformis	FABACEAE
<i>Acacia mangium</i>	Acácia mangium	FABACEAE
<i>Albizia niopoides</i>	Albícia	FABACEAE
<i>Amburana cearensis</i>	Amburana	FABACEAE
<i>Anadenanthera peregrina</i>	Angico vermelho	FABACEAE
<i>Syagrus rommzofiana</i>	Jerivá	ARECACEAE
<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i>	Peroba poca	APOCYNACEAE
<i>Aspidosperma parvifolium</i>	Guatambú	APOCYNACEAE
<i>Bauhinia forficata</i>	Bauhinia	FABACEAE
<i>Caesalpinia ferrea</i>	Pau ferro	FABACEAE
<i>Caesalpinia pluviosa</i>	Sibipiruna	FABACEAE
<i>Calophyllum brasiliense</i>	Guanandi	CALOPHYLLACEAE
<i>Cariniana legalis</i>	Jequitibá	LECYTHIDACEAE
<i>Cecropia pachystachya</i>	Embaúba	URTICACEAE
<i>Cedrela fissilis</i>	Cedro	MELIACEAE
<i>Ceiba speciosa</i>	Paineira	MALVACEAE
<i>Centrolobium robustum</i>	Araribá	FABACEAE
<i>Clitoria fairchildiana</i>	Sombreiro	FABACEAE
<i>Copaifera langsdorffii</i>	Óleo copaíba	FABACEAE
<i>Croton floribundus</i>	Capixingui	EUPHORBIACEAE
<i>Croton urucurana</i>	Sangra d'água	EUPHORBIACEAE
<i>Dalbergia nigra</i>	Jacarandá da bahia	FABACEAE
<i>Dendropanax cuneatus</i>	Maria mole	ARALIACEAE

“Tabela 2, continuação”

NOME CIENTÍFICO	NOME VULGAR	FAMÍLIA
<i>Dipteryx alata</i>	Baru	FABACEAE
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Tamboril	FABACEAE
<i>Erybotrya japonica</i>	Nêspera	ROSACEAE
<i>Erytrina falcata</i>	Eritrina	FABACEAE
<i>Eugenia pyriformis</i>	Uvaia	MYRTACEAE
<i>Eugenia uniflora</i>	Pitanga	MYRTACEAE
<i>Ficus insipida</i>	Figueira	MORACEAE
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Mutamba	MALVACEAE
<i>Genipa americana</i>	Genipapo	RUBIACEAE
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	Ipê roxo	BIGNONIACEAE
<i>Handroanthus serratifolius</i>	Ipê amarelo	BIGNONIACEAE
<i>Hovenia dulcis</i>	Uva do Japão	RHAMNACEAE
<i>Hymenaea courbaril</i>	Jatobá	FABACEAE
<i>Inga marginata</i>	Falso ingá	FABACEAE
<i>Inga vera</i>	Ingá	FABACEAE
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Jacarandá mimoso	FABACEAE
<i>Joanesia princeps</i>	Cotieira	EUPHORBIACEAE
<i>Lafoensia vandelliana</i>	Dedaleiro	LYTHRACEAE
<i>Lecythis pisonis</i>	Sapucaia	LECYTHIDACEAE
<i>Lithraea molleoides</i>	Aroeira brava	ANACARDIACEAE
<i>Luehea divaricata</i>	Açoita cavalo miúdo	MALVACEAE
<i>Luehea grandiflora</i>	Açoita cavalo grande	MALVACEAE
<i>Machaerium nyctitans</i>	Bico de pato	FABACEAE
<i>Machaerium villosum</i>	Jacarandá mineiro	FABACEAE
<i>Maclura tinctoria</i>	Amoreira	MORACEAE

“Tabela 2, continuação”

NOME CIENTÍFICO	NOME VULGAR	FAMÍLIA
<i>Magnolia ovata</i>	Pinha do brejo	MAGNOLIACEAE
<i>Melia azedarach</i>	Cinamono	MELIACEAE
<i>Miconia cinnamomifolia</i>	Casca de arroz	MELASTOMATACEAE
<i>Mimosa caesalpinifolia</i>	Sabiá	FABACEAE
<i>Mimosa scabrella</i>	Bracatinga	FABACEAE
<i>Muntingia calabura</i>	Calabura	FABACEAE
<i>Myrcia tomentosa</i>	Goiabeira do mato	MYRTACEAE
<i>Myroxylum balsamum</i>	Óleo bálsamo	FABACEAE
<i>Myrsine umbellata</i>	Pororoca	MYRSINACEAE
<i>Nectandra nitidula</i>	Canela amarela	LAURACEAE
<i>Ocotea odorifera</i>	Canela sassafrás	LAURACEAE
<i>Ormosia arborea</i>	Olho de cabra	FABACEAE
<i>Peltophorum dubium</i>	Angico amarelo	FABACEAE
<i>Persea pyrifolia</i>	Maçaranduba	LAURACEAE
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	Pau jacaré	FABACEAE
<i>Platycyamus regnellii</i>	Pau pereira	FABACEAE
<i>Platypodium elegans</i>	Jacarandá branco	FABACEAE
<i>Psidium guajava</i>	Goiabeira	MYRTACEAE
<i>Sapindus saponaria</i>	Saboneteira	SAPINDACEAE
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Aroeirinha	ANACARDIACEAE
<i>Schizolobium parahyba</i>	Guapuruvu	FABACEAE
<i>Senna macranthera</i>	Fedegoso	FABACEAE
<i>Senna multijuga</i>	Cássia verrugosa	FABACEAE
<i>Senna spectabilis</i>	Cássia carnaval	FABACEAE

“Tabela 2, conclusão”

NOME CIENTÍFICO	NOME VULGAR	FAMÍLIA
<i>Sesbania sesban</i>	Sebasnia	FABACEAE
<i>Sterculia chica</i>	Chicá	FABACEAE
<i>Solanum granulosoleprosum</i>	Gravitinga	SOLANACEAE
<i>Stenolobium stans</i>	Ipê mirim	BIGNONIACEAE
<i>Syzygium jambolanum</i>	Jambolão	MYRTACEAE
<i>Tabebuia impetiginosa</i>	Ipê roxo	BIGNONIACEAE
<i>Tapirira guianensis</i>	Peito de pombo	ANACARDIACEAE
<i>Tibouchina candolleana</i>	Quaresmeira	MELASTOMATACEAE
<i>Trema micrantha</i>	Trema	CANNABACEAE
<i>Xylopia brasiliensis</i>	Pindaíba	ANNONACEAE
<i>Zeyheria tuberculosa</i>	Ipê tabaco	BIGNONIACEAE

4.2 Metodologia

Os estudos foram desenvolvidos na sequência estabelecida (Figura 3), como forma de atingir aos objetivos propostos pelo estudo.

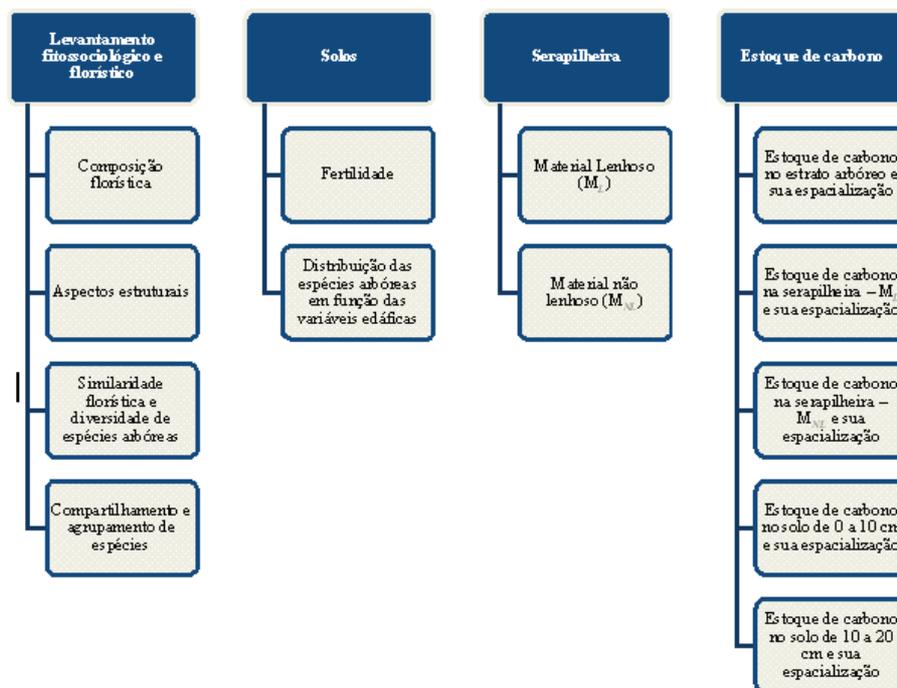


Figura 3 Sequência de atividades desenvolvidas na metodologia

4.2.1 Levantamento fitossociológico e florístico

Para a avaliação dos aspectos florísticos e estruturais da vegetação estabelecida sob as áreas em processo de restauração foi realizado um levantamento fitossociológico a partir da amostragem com sistematização das unidades amostrais na área. Foi utilizado o método de parcelas permanentes (MÜELLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 1974) e a localização das mesmas e a distribuição de parcelas é apresentada na Figura 1. Foram plotadas 36 unidades amostrais de 20 x 20 m ao longo das áreas de estudo, totalizando uma área amostral de 1,52 ha. As parcelas foram demarcadas com estacas de PVC (1/2”) e todos os indivíduos arbóreos com diâmetro à altura do peito (DAP) ≥ 5 cm encontrados no interior das parcelas foram registrados, identificados e

mensurados quanto a altura total e CAP (Figura 4). Todas as parcelas tiveram suas coordenadas geográficas medidas com o GPS Garmim V.



Figura 4 Sequência de atividades do inventário florestal: (a) delimitação de parcelas permanentes, (b) plaqueteamento e (c) medição de circunferência

4.2.2 Análise de solos

Para a análise química e granulométrica dos solos foram coletadas duas amostras na profundidade entre 0-20 cm dentro de cada parcela, para formar uma amostra composta. As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Lavras, com a obtenção dos

teores de P, K, S, Al, Ca⁺², Mg⁺², H+Al³⁺, N, t, T, V, SB, MO, P-Rem, Zn, pH e classe textural: Argila, Areia e Silte.

4.2.3 Estimativa do estoque de carbono no estrato arbóreo

A estimativa do estoque de carbono do estrato arbóreo ($DAP \geq 5\text{cm}$) foi obtida pelo método indireto (ou não destrutivo) por meio de avaliações dendrométricas (DAP e altura total) provenientes do conjunto de dados coletados através do inventário florestal considerando as informações biométricas como variáveis independentes do modelo nas cinco áreas em processo de restauração e no fragmento de vegetação nativa. A estimativa do carbono (acima do solo) foi realizada em cada área inventariada para os compartimentos troncos e galhos, com base em equação alométrica (RIBEIRO et al., 2009; SANQUETTA; BALBINOT; ZILLIOTTO, 2004) proposta por Scolforo et al. (2009), desenvolvida para Floresta Estacional Semidecidual das bacias hidrográficas dos rios Grande e Piracicaba as quais possuem condições semelhantes às encontradas na região de estudo:

a) Quantificação de biomassa florestal seca (BFS)

$$\ln(BFS) = -10,9532786932 + 2,5464820134 * \ln(DAP) + 0,4667754371 * \ln(H)$$

$$(R^2 = 98,46 \text{ e } S_{yx} = 29,92\%)$$

Em que: DAP = diâmetro a 1,30 do solo (cm); H = altura total (m)

b) Estimativa do estoque de carbono

$$\ln(C) = -12,3034390630 + 2,6584231780 * \ln(DAP) + 0,5711719721 * \ln(H)$$

$$(R^2 = 97,25 \text{ e } S_{yx} = 36,40\%)$$

Em que: DAP = diâmetro a 1,30 do solo (cm); H = altura total (m)

Essas equações consideram todos os indivíduos lenhosos com diâmetro A altura do peito igual ou superior a 5 cm. Na sequência, foram somados todos os valores (estimativa por parcela) e depois foi feita a extrapolação para ton.ha^{-1} . A utilização das equações propostas por Scolforo et al. (2009) foi em função da fitofisionomia Floresta Estacional Semidecidual prevalecer na maior parte das áreas estudadas.

4.2.4 Estimativa do estoque de carbono sobre o solo

A maioria dos estudos em ecossistemas florestais leva em consideração a fração da serapilheira composta por tecidos foliares e não a formada por galhos e/ou partes de troncos que também podem contribuir na disponibilidade total de nutrientes no solo. Sendo assim, optou-se por fracionar a serapilheira para quantificar e analisar o estoque de carbono presente na mesma. Foi considerada toda a biomassa morta e em vários estágios de decomposição, acima do solo mineral ou orgânico (Figura 5). Foi empregada a técnica da serapilheira acumulada e a amostragem bem como a triagem do material variaram em função do diâmetro, conforme especificações de amostragens e métodos específicos recomendados por Sanquetta, Balbinot e Zilliotto (2004) e Vogel, Schumacher e Truby (2006):

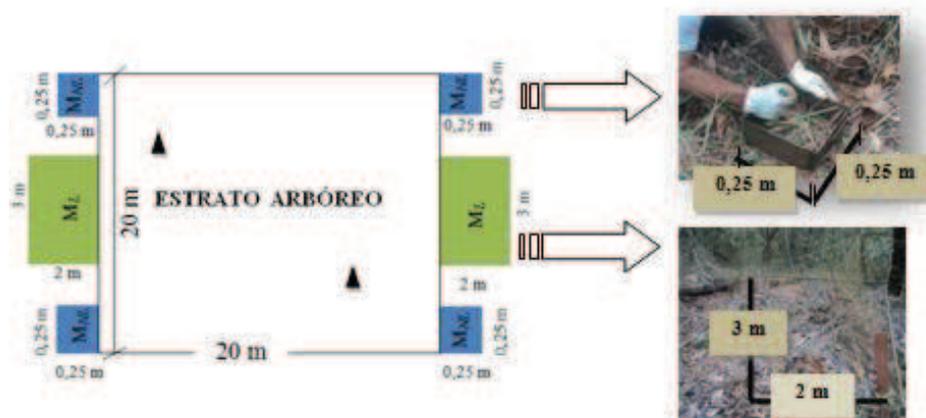


Figura 5 Detalhamento da unidade e subunidades amostrais no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG. Localização e distribuição das unidades amostrais com detalhe das parcelas

- Material não-lenhoso (M_{NL}): representado pelas estruturas foliares senescentes e ramos menores que 1 cm de diâmetro. Foram inclusos folhas (incluindo folíolos + pecíolo), ramos e miscelânea (material vegetal que não pode ser determinado e material de origem animal, incluindo restos de animais, fezes) (Figura 6). Foram coletadas amostras utilizando-se um quadrado de madeira de 0,25 x 0,25 m ($G_l = 0,0625 \text{ m}^2$) colocado diretamente no solo florestal tomando-se o cuidado de coletar toda a manta orgânica existente sobre o solo no ato da instalação. Foram utilizadas quatro repetições distribuídas por parcela temporal localizadas nos cantos externos da parcela florestal estabelecida para o inventário florestal. Isso resultou, portanto, em um total de 144 amostras (4 repetições x 36 parcelas) coletadas na área experimental.



Figura 6 Detalhamento do processo para obtenção da massa seca: (a) armazenamento da serapilheira coletada no campo; (b) triagem; (c) armazenamento em sacos de papel e (d) secagem em estufa de circulação e renovação de ar a 70 °C

▪ Material lenhoso (M_L): correspondente às partes lenhosas arbóreas representadas por galhos, troncos e cascas caídos sobre o solo com diâmetro igual e/ou superior a 1 cm .

Para a coleta das amostras do material lenhoso foram demarcadas parcelas retangulares de 3,0 m x 2,0 m, resultando em uma área útil de 6,0 m². Foram lançadas 76 parcelas (36 parcelas x 2 parcelas retangulares) distribuídas

nas áreas de estudo (Figura 6). Todo o material localizado dentro da parcela (marco) foi acondicionado em sacos plásticos e pesado em balança digital com precisão de 10 g. Em seguida, foi retirada uma sub-amostra homogênea com cerca de 200 g (massa úmida). As sub-amostras foram armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados e conduzidos ao Laboratório de Silvicultura (Figura 7).



Figura 7 Sequência de etapas necessárias para obtenção de biomassa do material lenhoso: (a), (b) e (c) pesagem do material lenhoso - M_L ; (d) retirada de amostras e (e) amostra a ser enviada ao Laboratório de Silvicultura

Em laboratório, as amostras foram limpas transferidas para embalagem de papel e secas em estufa de circulação e renovação de ar a 70 °C, permanecendo por um período de 72 horas, até adquirir peso constante (Figura 7). Após esse período, foi determinado o peso seco de cada amostra por meio de balança digital com precisão de 0,01 g. Em seguida, as amostras foram trituradas em um triturador de grãos, moídas em um moinho do tipo Wiley, passadas em peneiras de malha 1,0 mm (20 mesh) e armazenadas em recipientes para análises químicas (Figura 8).



Figura 8 Sequencia de atividades para obtenção da amostra em forma de pó para análise do carbono (a) armazenamento da serapilheira moída em sacos plásticos; (b) triturador; (c) extração do pó e (e) armazenamento do material em forma de pó para análise do carbono

A quantidade de serapilheira acumulada encontrada nos gabaritos ($G_1 = 0,0625 \text{ m}^2$ e $G_2 = 6,0 \text{ m}^2$) foi estimada em $\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1}$. Com base na massa seca determinada em laboratório e da massa úmida determinada a campo, obteve-se o teor de água (%) com o qual se estimou a biomassa seca total para cada amostra por unidade de área (ha).

Para a análise do carbono foram utilizadas sub-amostras (10 a 12 mg) acondicionadas em cápsulas de estanho e analisadas utilizando-se um analisador do tipo TOC, modelo Vario TOC Cube, da marca Elementar. No analisador de carbono as cápsulas de estanho são injetadas em forno a $950 \text{ }^\circ\text{C}$, para combustão a seco (Figura 9). O gás CO_2 emitido por cada amostra foi quantificado por um detector de infravermelho do tipo NDIR e relacionou-se o carbono gerado com a unidade de peso da amostra avaliada (MORAIS, 2012).

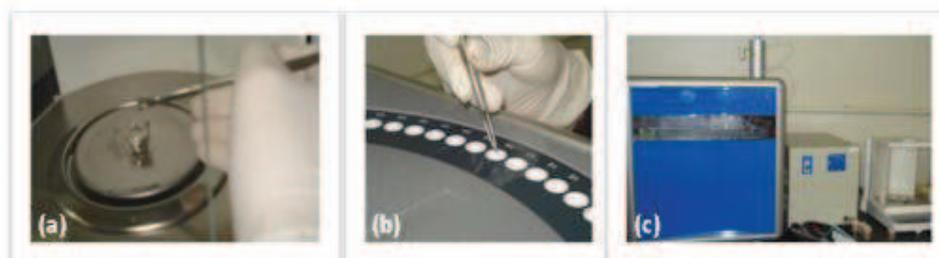


Figura 9 Preparo das amostras em cápsulas de estanho (a), (b) e (c) análise do carbono no analisador do tipo TOC, modelo Vario TOC Cube, da marca Elementar

4.2.5 Estimativa do estoque de carbono no solo

Para a amostragem do estoque de carbono no solo, foram coletadas com um trado amostras de solo nas profundidades de 0–10 e 10–20 cm. Em todas as parcelas das áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e de vegetação nativa, foram retiradas amostras compostas, tomadas

a partir de duas sub-amostras cada uma constituindo duas repetições. As amostras foram secadas ao ar, maceradas, passadas em peneira de 2 mm e, posteriormente, em peneira de 100 mesh.

Em todas as áreas e profundidades foram coletadas amostras indeformadas com auxílio de um cilindro (5x5 cm) (84,5 cm³) para determinação da densidade aparente do solo. A densidade aparente do solo foi determinada segundo Blake e Hartge (1986), ou seja, com o peso seco da amostra e o volume conhecido do cilindro (84,5 cm³), pode-se obter a densidade:

$$\delta = m/v$$

Em que: δ = densidade do solo (g/cm³); m = peso seco do solo (g); v = volume do cilindro (cm³)

As sub-amostras (10 a 12 mg) foram acondicionadas em cápsulas de estanho e analisadas utilizando-se um analisador do tipo TOC, modelo Vario TOC Cube, da marca Elementar. No analisador de carbono as cápsulas de estanho são injetadas em forno a 950 °C, para combustão a seco. O gás CO₂ emitido por cada amostra foi quantificado por um detector de infravermelho do tipo NDIR, que relaciona o carbono gerado com a unidade de peso da amostra avaliada (MORAIS, 2012).

O carbono orgânico total (CO) foi determinado nas profundidades de 0–10 e 10–20 cm, a partir da expressão:

$$EstC = (CO * D_s * e)$$

Em que: EstC = estoque de C orgânico em determinada profundidade (Ton ha⁻¹); CO = teor de C orgânico total (%); D_s = densidade do solo média da

profundidade (kg dm^{-3}), determinada a partir de amostras indeformadas (BLAKE; HARTGE, 1986); e = espessura da camada considerada (cm).

4.3 Análises estatísticas das variáveis

Para atender aos objetivos propostos foram realizadas as seguintes análises estatísticas:

4.3.1 Caracterização da vegetação arbórea, aspectos estruturais, diversidade e similaridade florística

Para descrever a estrutura da comunidade arbórea das áreas em estudo, foram calculados, por espécie, os parâmetros fitossociológicos usuais (MÜLLER-DOMBOIS; ELLEMBERG, 1974): densidade, frequência e índice de valor de importância (IVI). Foram consideradas como representativas, para esta análise, as 10 espécies com maior IVI, com base no fato de que estas correspondem a pelo menos a metade do somatório de IVI de todas as espécies em cada área e, portanto, dominam as comunidades.

Após a verificação de normalidade e homocedasticidade dos dados pelos testes estatísticos de Shapiro-Wilk e de Bartlett, os valores médios das variáveis estruturais (densidade, área basal) das parcelas foram comparados. Esses valores foram comparados entre as categorias em estudo por meio de análise de variância (ANOVA), adotando-se o nível de significância de 5%. Quando ocorreram diferenças significativas em nível de 5% aplicou-se teste de Tukey.

Para cada categoria em estudo foi calculado, o índice de diversidade de espécies (H') com base neperiana (PIELOU, 1975) e a equabilidade de Pielou (J') (BROWER; ZAR, 1984). Os índices de diversidade de Shannon entre as áreas foram comparados aos pares pelo teste de t de Hutcheson.

Para interpretar a similaridade florística entre as parcelas utilizou-se a classificação aglomerativa das parcelas ou agrupamento de “cluster”, com base no cálculo do índice de similaridade de Sorensen gerando um dendrograma, no qual os valores das ordenadas expressam as relações de similaridade entre os objetos indicados nas abscissas (SNEATH; SOKAL, 1973; SOKAL; ROHLF, 1995). As análises foram feitas utilizando o programa PC-Ord, versão 5.10. As espécies exclusivas e comuns às áreas de reflorestamento foram agrupadas em um diagrama de *Venn*.

4.3.2 Análise estatística da fertilidade do solo

O conjunto de dados obtidos da análise de fertilidade do solo foi inicialmente testado quanto à normalidade da distribuição dos erros e homogeneidade de suas variâncias (Shapiro-Wilk) para verificar o atendimento aos requisitos para o emprego da análise de variância (ANOVA). Os resultados que não atenderam, inicialmente, aos requisitos de normalidade e homogeneidade das variâncias, foram submetidos à transformação logarítmica. O delineamento experimental considerado foi o delineamento inteiramente casualizado (DIC).

4.3.3 Distribuição de espécies arbóreas em áreas em processo de restauração em função das variáveis edáficas

Para verificar a existência de variações na distribuição das espécies e que estas estariam correlacionadas com os fatores edáficos, os dados das comunidades arbóreas foram analisados em conjunto com os dados obtidos da análise de solos, por meio da análise de correspondência canônica - CCA (BRAAK, 1986, 1987). Foram elaboradas duas matrizes: a primeira contendo as

abundâncias das espécies arbóreas nas parcelas e, uma segunda matriz, com os dados de solos. As correlações entre as matrizes biótica e edáfica tiveram a significância testada a partir do teste de permutação de “Monte Carlo”. As análises foram realizadas através do programa PC-ORD, versão 5.10.

Após uma análise prévia, foram eliminadas as variáveis edáficas que apresentaram alta redundância ou correlações fracas entre as parcelas ($r < 0,3$), sendo excluídas as variáveis H+Al, Mg, Ca, V, MO e silte. A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de D'Agostino-Pearson. Os dados que expressam relação de razão foram previamente transformados pela função $X' = \text{ARCSEN}(\sqrt{X/100})$, para adequação aos pressupostos estatísticos, enquanto aqueles quantitativos discretos ou contínuos foram transformados pelas funções raiz quadrada ou logarítmica, respectivamente. As variáveis edáficas e aquelas bióticas foram comparadas entre os fragmentos por análises de variância unifatoriais (ANOVA), atreladas ao teste *a posteriori* de Tukey. Essas foram conduzidas no programa BioEstat, versão 5.0.

4.3.4 Análise exploratória do estoque de carbono nos compartimentos das áreas em processo de restauração e do fragmento de vegetação nativa

A variabilidade do estoque de carbono nos compartimentos considerados foi, primeiramente, avaliada pela análise exploratória dos dados, calculando-se a média, mediana, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose, máximo e mínimo. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Shapiro Wilk (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE - SAS INSTITUTE, 1995).

4.3.5 Espacialização do estoque de carbono nos compartimentos das áreas em processo de restauração e do fragmento de vegetação nativa

Foram aplicados os métodos da geoestatística (semivariograma e krigagem) para analisar a dependência espacial do estoque de carbono nas diferentes frações consideradas no estudo e produção de mapas de krigagem (MELLO et al., 2005; NOVAES FILHO et al., 2007). A análise da dependência espacial foi avaliada por meio da análise variográfica, conforme Pannatier (1996). A análise de dependência espacial é baseada na suposição de que medições separadas por distâncias pequenas são mais semelhantes umas às outras que aquelas separadas por distâncias maiores. A semivariância foi estimada por meio da seguinte expressão:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_1 + h)]^2$$

Em que: $\gamma(h)$ é a semivariância experimental, obtida pelos valores amostrados $z(x_i)$ e $z(x_1+h)$; h é a distância entre os pontos amostrais; $N(h)$ é o número total de pares de pontos possíveis a uma distância h considerada.

O estudo geoestatístico foi realizado com o uso do programa R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2007), usando o pacote geoR (RIBEIRO JÚNIOR; DIGGLE, 2001). A variável de estudo foi o estoque de carbono nos diferentes compartimentos das áreas em processo de restauração e do fragmento nativo, ou seja, no estrato arbóreo, na serapilheira acumulada (material não lenhoso e lenhoso) e no solo em duas profundidades (0 a 10 e 10 a 20 cm). Para cada parcela dentro dos respectivos fragmentos, foram obtidas as coordenadas UTM e o estoque de carbono para as diferentes frações estimado por meio de

equações de carbono para a fisionomia Floresta Estacional Semidecidual. Com isso, foi analisada a tendência dos dados do estoque médio de carbono nas frações consideradas dos fragmentos em estudo em relação às coordenadas x e y . Com base nos dados de carbono de cada compartimento e as coordenadas UTM de cada parcela, foi possível efetuar o estudo variográfico, a fim de detectar a dependência espacial do carbono nas respectivas frações.

4.3.6 Variografia

Após a análise exploratória dos dados no aspecto espacial, foi feito o estudo variográfico, em cada área em processo de restauração e no fragmento de vegetação nativa, a fim de detectar a dependência espacial do estoque de carbono. Essa análise foi realizada para compreender como o estoque de carbono nas frações consideradas tende a se distribuir nos fragmentos com níveis diferenciados de perturbação. Com isso foi possível construir o gráfico de semivariograma, o qual relaciona a semivariância com as distâncias.

Para a variável estoque de carbono nas frações descritas, foram calculados os semivariogramas e, na sequência, a determinação do grau de dependência espacial (DE) o que permitiu a escolha do modelo com o menor valor de AIC. Isso possibilitou verificar se a geoestatística poderia ser usada. Por este método foram determinados os parâmetros: efeito pepita (τ^2), contribuição (σ^2), patamar e alcance da dependência espacial (\emptyset). Os modelos utilizados para o ajuste foram o Exponencial e o Gaussiano, descritos por Isaack e Serivastava (1989).

Os ajustes desses modelos foi avaliado por meio do AIC, do erro médio reduzido, oriundo da validação cruzada e do grau de dependência espacial (DE), para o estoque de carbono de cada compartimento (estrato arbóreo, serapilheira e solo) considerado nas áreas em processo de restauração e no fragmento de

vegetação nativa. O grau de dependência espacial foi dado pela razão entre a contribuição (σ^2) e a variação total ($\tau^2 + \sigma^2$) para cada compartimento estudado. Os ajustes dos modelos foram feitos no programa R, através do pacote geoR.

$$IDE = \frac{\sigma^2}{\sigma^2 + \tau^2}$$

A dependência espacial foi determinada e classificada, assumindo os seguintes intervalos: dependência espacial baixa para $IDE \leq 25\%$, moderada para $25\% < IDE \leq 75\%$ e forte para $IDE > 75\%$ (CAMBARDELLA et al., 1994).

4.3.7 Krigagem

Os mapas de distribuição espacial foram gerados através do método de interpolação Krigagem ordinária em software de SIG (Sistema de Informação Geográfica). Com as informações do estoque de carbono por parcela de cada compartimento, mais o modelo espacial foram efetuadas as estimativas em cada ponto não amostrado. A estimativa dos pontos não amostrados foi realizada com base na krigagem pontual, descrita por Isaaks e Serivastava (1989).

O número de classes adotado foi igual a seis, com base nos estudos realizados por Morais (2012), que constatou que esse número é mais eficiente no controle da variabilidade. Com as informações dos totais de carbono por parcela nas referentes matrizes, mais o modelo espacial foram efetuadas as estimativas em cada ponto não amostrado (Z). A estimativa é efetuada a partir da seguinte formulação:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

Onde: $Z(x_0)$ = estimativa no ponto não amostrado); λ_i = peso que cada valor mensurado recebe em função do modelo espacial.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização da composição florística

A listagem das espécies arbóreas amostradas nas seis áreas é apresentada na Tabela 3. Nessa Tabela, está apresentada a relação das espécies encontradas, em ordem alfabética por família, com os respectivos grupos ecológicos. O fato da presença dessas espécies é um indicativo da capacidade das mesmas de se desenvolverem em condições ambientais não muito favoráveis ou extremas para a sobrevivência. Nas cinco áreas de reflorestamento ambiental (R₁, R₂, R₃, R₄ e R₅) em conjunto foram registrados, no estrato arbóreo, um total de 1.397 indivíduos, distribuídos em 25 famílias botânicas e 68 espécies, resultando em uma densidade média de 1.247 indivíduos.ha⁻¹. No fragmento de vegetação nativa (FRN) foram observados 549 indivíduos, distribuídos em 31 famílias botânicas e 64 espécies, resultando em uma densidade média de 1.716 indivíduos.ha⁻¹. Este número de espécies e famílias foi inferior do encontrado por Berg e Oliveira Filho (2000) em levantamentos fitossociológicos em floresta ripária em Itutinga (MG) na região do reservatório de Camargos onde ocorreram 162 espécies pertencentes a 54 famílias. Porém, o fragmento estudado pelos autores trata-se de uma área com pouco efeito de borda, uma vez que é uma área maior. Portanto, espera-se um número maior de espécies e de famílias.

Entre as áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação, verificou-se que as categorias DE e PE apresentaram pequena variação quanto ao número de espécies (DE = 55 e PE = 49) e de famílias (DE = 19 e PE = 20). Os números de espécies encontrados para as áreas em processo de restauração podem ser considerados baixo quando comparado com levantamentos de fragmentos de florestas estacionais semidecíduais realizados na região do Alto Rio Grande (Sul de Minas Gerais) estudados por Berg e

Oliveira Filho (2000) e Oliveira Filho et al. (1994a). Os autores encontraram para os fragmentos de Tiradentes 277 espécies, Poço Bonito (219), Camargos (162), Madre de Deus de Minas (192) e Lavras, UFLA (184). Vale ressaltar que esse baixo número de espécies observado nas categorias DE e PE evidencia a característica dos reflorestamentos em fase de restauração em promover de forma mais rápida a melhoria dos aspectos funcionais (proteção contra erosão, manutenção da vazão e qualidade da água etc.) que a diversidade biológica (MELO; DURIGAN, 2007). Para comunidades secundárias de Floresta Estacional Semidecidual inseridas no médio Vale do Paranapanema (SP), Melo e Durigan (2007) relataram que nas nove áreas de restauração pesquisadas foram encontradas 102 espécies pertencentes a 34 famílias. Em 18 plantios de restauração de matas ciliares no entorno da UHE Volta Grande (MG), Ferreira Júnior, Schaefer e Silva (2009) relata um total de 126 espécies pertencentes a 35 famílias.

Os resultados relativos aos parâmetros quantitativos da vegetação demonstraram que o fragmento de vegetação nativa analisado neste estudo também apresentou valores abaixo do que seria esperado quando comparados com outros levantamentos realizados em fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual da região, tais como os realizados por autores como Carvalho et al. (1999, 2000), Oliveira Filho et al. (1995), Pinto et al. (2005) e Vilela et al. (1997): Itutinga (MG) onde foram encontradas 253 espécies e 66 famílias, Bom Sucesso (MG) com 245 espécies e 50 famílias, Itambé do Mato Dentro (MG) 216 espécies e 50 famílias, Martinho Campos (MG) 121 espécies e 43 famílias, Uberaba (MG) 90 espécies e 35 famílias, Lavras (MG) 224 espécies e 54 famílias. Ressalta-se o tamanho reduzido do fragmento estudado, o que pode ter sido o fator determinante do menor número de espécies.

Tabela 3 Famílias e espécies da flora arbórea amostradas nas áreas de reflorestamento ambiental (R₁, R₂, R₃, R₄ e R₅) e fragmento natural (FRN) no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG

FAMÍLIA/ESPÉCIE	DE		PE			CON
	R ₂	R ₃	R ₁	R ₄	R ₅	
ANACARDIACEAE						
<i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl.	X	X	X	X		X
<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi		X		X		
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.		X	X	X	X	
<i>Tapirira obtusa</i> (Benth.) J.D.Mitch.		X		X		X
ANNONACEAE						
<i>Annona laurifolia</i> (Schltdl.) H.Rainer						X
<i>Guatteria nigrescens</i> Mart.						X
ARALIACEAE						
<i>Dendropanax cuneatus</i> (DC.) Decne. & Planch.						X
ARECACEAE						
<i>Syagrus macrocarpa</i> Barb.Rodr.		X				X
ASTERACEAE						
<i>Eremanthus incanus</i> (Less.) Less.	X	X	X	X	X	
<i>Gochnatia polymorpha</i> (Less.) Cabrera						X
BIGNONIACEAE						
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	X	X		X		
<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) Bureau			X			
BORAGINACEAE						
<i>Cordia sellowiana</i> Cham.						X
BURSERACEAE						
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand						X
<i>Protium pilosissimum</i> Engl.						X
<i>Protium warmingianum</i> Marchand						X

“Tabela 3, continuação”

FAMÍLIA/ESPÉCIE	DE			PE		CON
	R ₂	R ₃	R ₁	R ₄	R ₅	
CALOPHYLLACEAE						
<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.		X				
<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc.			X			
CANNABACEAE						
<i>Celtis brasiliensis</i> (Gardner) Planch.						X
CARYOCARACEAE						
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.					X	
CELASTRACEAE						
<i>Cheiloclinium cognatum</i> (Miers.) A.C.Sm.						X
COMBRETACEAE						
<i>Terminalia fagifolia</i> Mart.						X
CUNONIACEAE						
<i>Lamanonia ternata</i> Vell.						X
ERYTHROXYLACEAE						
<i>Erythroxylum myrsinites</i> Mart.						X
EUPHORBIACEAE						
<i>Actinostemon concolor</i> (Spreng.) Müll.Arg.						X
<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll.Arg.						X
<i>Croton floribundus</i> Spreng.			X		X	X
<i>Croton urucurana</i> Baill.		X				
<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.						X
FABACEAE						
<i>Acacia auriculiformis</i> Benth.	X	X		X		
<i>Acacia mangium</i> Willd.	X	X	X	X	X	
<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.	X	X		X		
<i>Andira fraxinifolia</i> Benth.						X

“Tabela 3, continuação”

FAMÍLIA/ESPÉCIE	DE		PE			CON
	R ₂	R ₃	R ₁	R ₄	R ₅	
<i>Bauhinia forficata</i> Link						X
<i>Clitoria fairchildiana</i> Howard		X		X		X
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	X	X	X	X		X
<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.				X		
<i>Dalbergia nigra</i> (Vell.) Allemão ex Benth.						X
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	X	X		X		
<i>Erythrina falcata</i> Benth.		X				X
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	X			X		X
<i>Inga marginata</i> Willd.		X				X
<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz	X	X		X		
<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stellfeld						X
<i>Machaerium nyctitans</i> (Vell.) Benth.	X					X
<i>Machaerium stipitatum</i> (DC.) Vogel						X
<i>Machaerium villosum</i> Vogel	X	X		X		X
<i>Mimosa bimucronata</i> (DC.) Kuntze	X	X				
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth.	X	X		X	X	
<i>Mollinedia widgrenii</i> A. DC.						X
<i>Ormosia arborea</i> (Vell.) Harms						X
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	X	X	X	X	X	X
<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F. Macbr.	X	X	X	X		
<i>Platypodium elegans</i> Vogel				X	X	
<i>Pterodon marginatus</i> Vogel			X			
<i>Senna macranthera</i> (Collad.) H.S. Irwin & Barneby		X			X	
<i>Senna multijuga</i> (L.C. Rich.) H.S. Irwin & Barneby	X	X				
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Cov.	X					
<i>Swartzia acutifolia</i> Vogel	X			X		

“Tabela 3, continuação”

FAMÍLIA/ESPÉCIE	DE			PE		CON
	R ₂	R ₃	R ₁	R ₄	R ₅	
HYPERICACEAE						
<i>Vismia brasiliensis</i> Choisy			X			X
LAMIACEAE						
<i>Aegiphila verticillata</i> Vell.	X		X			
<i>Vitex polygama</i> Cham.						X
LAURACEAE						
<i>Cryptocarya aschersoniana</i> Mez						X
<i>Nectandra lanceolata</i> Nees						X
<i>Nectandra nitidula</i> Nees		X				X
<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees	X			X		X
<i>Ocotea aciphylla</i> (Nees) Mez		X		X		
<i>Ocotea oppositifolia</i> S.Yasuda	X					
<i>Ocotea pulchella</i> Mart.			X			X
<i>Persea pyriformis</i> Ness & Mart.,		X	X			
<i>Persea willdenowii</i> Kosterm.						X
LYTHRACEAE						
<i>Lafoensia pacari</i> A.St.-Hil.		X	X		X	
MALVACEAE						
<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna	X	X	X	X		
<i>Guazuma crinita</i> Mart.						X
<i>Luehea grandiflora</i> Mart. & Zucc.					X	
MELASTOMATACEAE						
<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana			X			
<i>Miconia chartacea</i> Triana			X			
<i>Tibouchina sellowiana</i> (Cham.) Cogn.			X			
MELIACEAE						

“Tabela 3, continuação”

FAMÍLIA/ESPÉCIE	DE		PE			CON
	R ₂	R ₃	R ₁	R ₄	R ₅	
<i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.						X
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	X	X	X	X		
<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer						X
MORACEAE						
<i>Ficus pertusa</i> L.f.		X				
<i>Maclura tinctoria</i> (L.) Steud.		X				X
MYRTACEAE						
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O.Berg			X			
<i>Calyptranthes clusiifolia</i> O.Berg						X
<i>Eugenia florida</i> DC.	X		X		X	
<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.						X
<i>Myrcia venulosa</i> DC.		X	X	X		X
<i>Psidium cattleianum</i> Sabine			X			
<i>Psidium guajava</i> L.	X	X				X
<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston	X	X	X	X		
PERACEAE						
<i>Pera glabrata</i> (Schott) Poepp. ex Baill.						X
PICRAMNIACEAE						
<i>Picramnia parvifolia</i> Engl.	X	X				
PRIMULACEAE						
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult.	X	X	X	X		X
<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	X	X		X		
ROSACEAE						
<i>Eriobotrya japônica</i> Lindl	X	X		X		X
RUBIACEAE						
<i>Amaioua intermedia</i> Mart. Ex Schult. & Schult.f.						X

“Tabela 3, conclusão”

FAMÍLIA/ESPÉCIE	DE			PE		CON
	R ₂	R ₃	R ₁	R ₄	R ₅	
<i>Palicourea crocea</i> (Sw.) Schult.						X
RUTACEAE						
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.				X		X
SALICACEAE						
<i>Casearia decandra</i> Jacq.				X		X
<i>Casearia lasiophylla</i> Eichler				X		
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.						X
SAPINDACEAE						
<i>Cupania vernalis</i> Cambess.						X
SIPARUNACEAE						
<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.						X
STYRACACEAE						
<i>Styrax leprosus</i> Hook. & Arn.		X	X	X	X	
THYMELAEACEAE						
<i>Daphnopsis fasciculata</i> (Meisn.) Nevling						X
URTICACEAE						
<i>Cecropia hololeuca</i> Miq.	X	X				X

Nota: . DE = Degradada; PE = Perturbada; CON = Conservada.

Na categoria DE, a família que apresentou maior número de espécies (Figura 10 a) foi Fabaceae (20 espécies), seguida de Lauraceae (6), Myrtaceae (4) e Anacardiaceae (4), representando 61,8% das espécies amostradas. Em vários levantamentos realizados na região do Alto Rio Grande verificaram que as famílias: Fabaceae (CARVALHO, 2002; OLIVEIRA FILHO et al., 1995), Lauraceae (VILELA et al., 1997) e Myrtaceae (FERREIRA, 2009; PINTO et al., 2005) estão entre as que mais se destacaram em riqueza de espécies. Esses dados assemelham-se, em parte, as demais categorias onde nota-se que na categoria de áreas PE, as principais famílias com maior número de espécies foram: Fabaceae (17), Myrtaceae (5), Anacardiaceae (4) e Lauraceae (3), representando 60,4% das espécies amostradas e no fragmento de vegetação nativa, o destaque quanto ao número de espécies foi: Fabaceae (16 espécies), Lauraceae (6), Euphorbiaceae (4) e Myrtaceae (4), representando 64,1% das espécies amostradas. Destas, Fabaceae esteve presente em todas as parcelas amostradas. Isso pode, provavelmente, ser explicado devido à família possuir espécies com características que as tornam mais adaptadas às condições ambientais locais. A família Fabaceae destacou-se em número de espécies também em outros trabalhos realizados em Floresta Estacional Semidecidual (MARANGON; SOARES; FELICIANO, 2003; SILVA; MARTINS; MEIRA NETO, 2004). A família Fabaceae é a terceira maior família botânica, é dividida em três subfamílias (Caesalpinioideae, Faboideae e Mimosoideae), com aproximadamente 619 gêneros e 17.815 espécies e sua importância econômica é igualada somente a Poaceae (GUNN, 1984).

Quanto às famílias com maior número de indivíduos na categoria DE (Figura 10 b), destacam-se: Fabaceae (337), Myrtaceae (96), Anacardiaceae (87), Primulaceae (46), Meliaceae (23), Lythraceae (12), Urticaceae (12), Lauraceae (12), Asteraceae (8) e Moraceae (8). Nas áreas da categoria PE dentre as famílias de maior representatividade quanto ao número de indivíduos

destacam-se: Fabaceae (422 indivíduos), Anacardiaceae (117), Myrtaceae (60), Asteraceae (39), Euphorbiaceae (18), Primulaceae (15), Bignoniaceae (9), Lauraceae (6), Lythraceae (6) e Meliaceae (5). No fragmento de vegetação nativa, as principais famílias com maior número de indivíduos foram: Anacardiaceae (118 indivíduos), Fabaceae (152), Lauraceae (89), Burseraceae (50), Meliaceae (25), Myrtaceae (24), Salicaceae (17), Hypericaceae (10) e Euphorbiaceae (8).

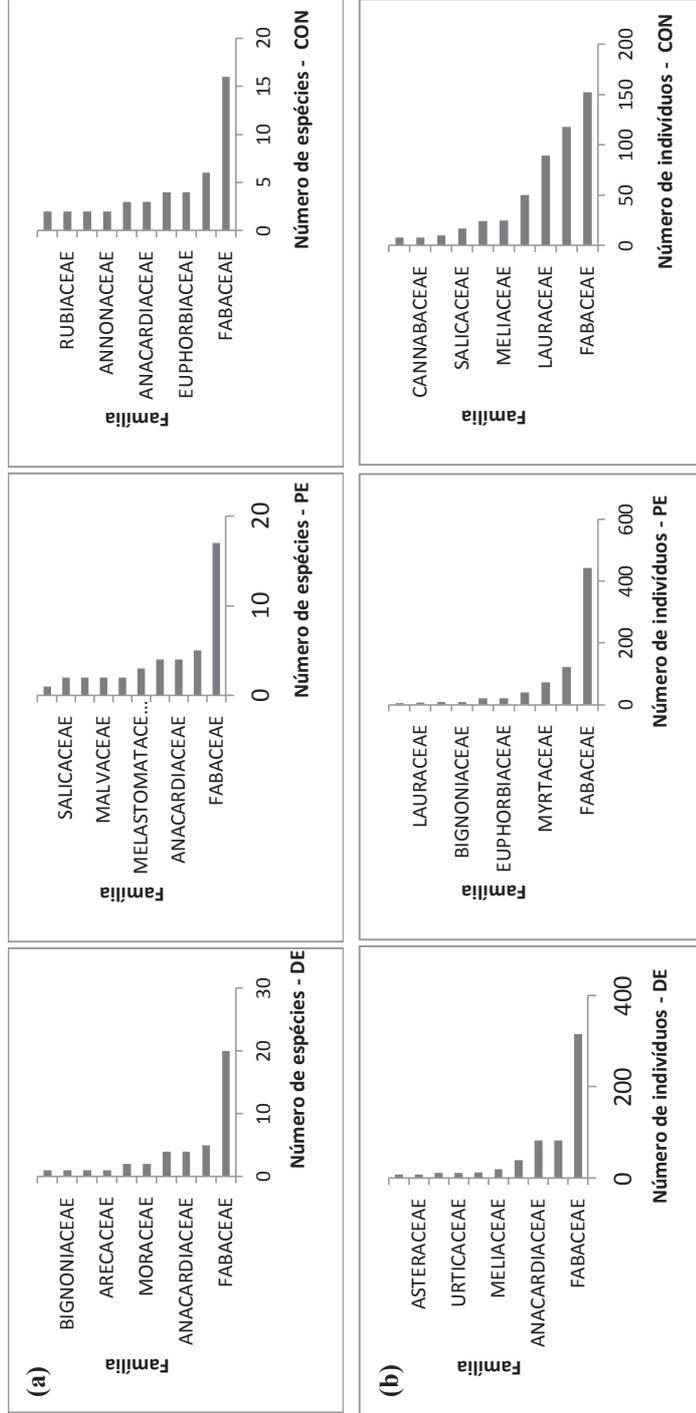


Figura 10 Número de indivíduos nas 10 famílias de maior representatividade quanto ao número de espécies (a) e quanto ao número de indivíduos (b) por família no estrato arbóreo das áreas em processo de restauração e no fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG

Nota: DE = degradada, PE = perturbada e CON = conservada (fragmento de vegetação nativa).

5.2 Aspectos estruturais, similaridade florística e diversidade de espécies arbóreas

As distribuições das proporções de árvores em cada classe de diâmetro e altura foram comparadas entre as áreas (Figura 11 a). Para a distribuição diamétrica houve diferença significativa entre as áreas das categorias DE-PE ($t = 1,75$, $p < 0,01$) e PE-CON ($t = 1,26$, $p < 0,05$). Entre as áreas das categorias DE-CON não houve diferença significativa ($t = 0,48$, $p = ns$). Os indivíduos estão quase em sua totalidade na menor classe diamétrica (5 a 10 cm), caindo intensamente seu número nas classes subsequentes (Figura 12 a), conforme também encontrado por Souza, Souza e Meira Neto (2012). Esse padrão encontrado é um indicativo de que as áreas em processo de restauração tendem a uma distribuição exponencial negativa e foi influenciado, principalmente, por espécies como *Anadenanthera peregrina*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Lithraea molleoides*, *Mimosa caesalpinifolia*, *Piptadenia gonoacantha* e *Syzygium jambos*, nas categorias DE e PE. A grande frequência de indivíduos nas áreas PE, na classe diamétrica 27,5 cm, deve-se a maior densidade de indivíduos de *A. mangium*.

Os valores de altura obtidos para as áreas das categorias DE-PE ($t = 0,99$, $p < 0,01$) e DE-CON ($t = 1,41$, $p < 0,01$) diferiram significativamente. No entanto, não houve diferença significativa entre as áreas PE-CON ($t = 0,41$, $p = ns$). A maior proporção de indivíduos ocorreu na faixa entre 5 e 10 m (Figura 11 b). Cerca de 30% dos indivíduos presentes no fragmento nativo foram registrados em faixa maior de altura (10 a 15 m). Os maiores exemplares apresentaram 19,9 m de altura e foram encontrados na categoria PE, correspondendo a indivíduos de *A. mangium*, que é uma espécie tolerante a solos pobres e de rápido crescimento (CHEN, 2011). Na condição em que se encontra, o dossel do reflorestamento é composto principalmente por *A. mangium*. No

entanto, como essa é uma espécie de curta longevidade (cerca de 20 anos), a tendência é que dentro de pouco tempo essa espécie não esteja mais presente nas áreas estudadas já havendo plantas senescentes.

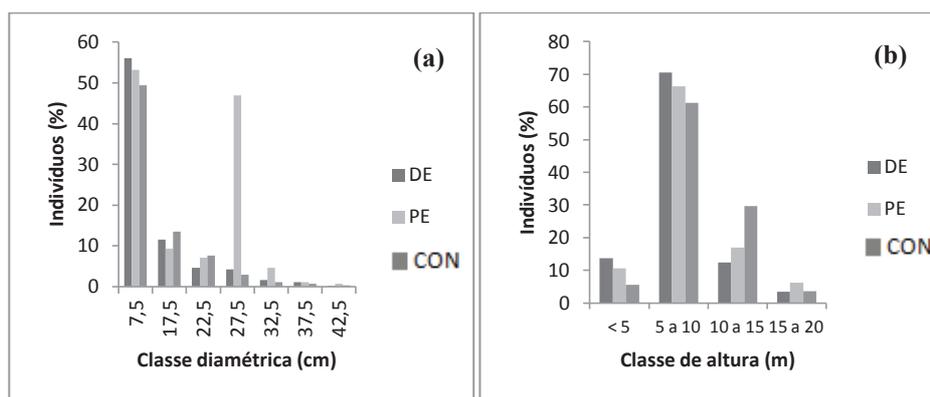


Figura 11 Distribuição diamétrica (cm) (a) e de altura (m) (b) dos indivíduos arbóreos amostrados nos plantios florestais de recomposição de matas ciliares e no fragmento natural no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG

A densidade de árvores foi de 1.292, 1.214 e 1.716 indivíduos.ha⁻¹, para as categorias DE, PE e CON, respectivamente. O valor obtido para a categoria CON diferiu significativamente das categorias PE-DE ($p < 0,05$). No entanto, não houve diferença significativa entre DE e PE para os valores de densidade. Já os valores de área basal para as áreas das categorias DE-PE ($t = 0,006$, $p < 0,01$) e PE-CON ($t = 0,005$, $p < 0,01$) diferiram significativamente. Nota-se, que a categoria PE (15,10 m².ha⁻¹) foi significativamente diferente das demais (DE = 9,34 m².ha⁻¹ e CON = 8,24 m².ha⁻¹), provavelmente, pela maior densidade de *A.mangium* (356 ind.ha⁻¹). Não houve diferença significativa entre as áreas DE-CON ($t = 0,003$, $p = ns$). Comparando esses resultados com levantamentos feitos na região empregando o mesmo critério de inclusão ($DAP \geq 5$ cm), a área basal das categorias de estudo foi inferior (Quadro 1).

Quadro 1 Características estruturais e de composição das áreas distribuídas em categorias quanto aos níveis de perturbação diferenciados no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG. e de comunidades arbóreas amostradas em Florestas Estacional Semidecidual

LOCAL	H_{média} (m)	DAP_{médio} (cm)	DENSIDADE (ind.ha⁻¹)	ÁREA BASAL (m².ha⁻¹)	FONTE
Camargos (MG) - DE	7,59	11,60	1.292	9,34	Este trabalho
Camargos (MG) – PE	8,59	13,34	1.214	15,10	Este trabalho
Camargos (MG) – CON	9,00	12,08	1.716	8,24	Este trabalho
Reserva Florestal (UFLA), Lavras (MG)	--	--	1.500	27,24	Espírito-Santo et al. (2002)
Reserva Florestal (UFLA), Lavras (MG)	--	--	--	19,77	Oliveira Filho et al. (1994c)
Capivari, Lavras (MG)	--	--	--	27,70	Souza (2001)
Mata da Ilha, Ingaí (MG)	--	--	--	29,31	Botrel (2001)
Frag. Margem esquerda do Rio Capivari, Lavras (MG)	--	--	1.487	31,03	Souza et al. (2002)
Nascente perturbada, Lavras (MG)	--	--	1.795	--	Pinto et al. (2005)
Nascente degradada, Lavras (MG)	--	--	642	--	Pinto et al. (2005)
Floresta Est. Sem. Montana (Madre Deus, MG)	--	--	322	22,92	Vilela et al. (2000)
Parque Florestal Quedas do Rio Bonito (MG)	--	--	1.723	20,50	Dalanesi, Oliveira Filho e Fontes (2004)

Nota: H_{média} = altura média; DAP_{médio} = diâmetro à altura do peito; densidade (ind.ha⁻¹) e área basal (m².ha⁻¹).

Na categoria DE as espécies com maiores densidades absolutas foram *Acacia mangium* (208 ind.ha⁻¹), *Syzygium jambos* (156 ind.ha⁻¹), *Schinus terebinthifolius* (100 ind.ha⁻¹), *Piptadenia gonoacantha* (79 ind.ha⁻¹) e *Enterolobium contortisiliquum* (58 ind.ha⁻¹), com frequência absoluta para estas espécies variando de 50 a 67% (Tabela 4). Em PE, as espécies que se destacaram quanto à densidade absoluta foram *A. mangium* (356 ind.ha⁻¹), *Mimosa caesalpinifolia* (128 ind.ha⁻¹), *Syzygium jambos* (79 ind.ha⁻¹), *Schinus terebinthifolius* (69 ind.ha⁻¹) e *Lithraea molleoides* (62 ind.ha⁻¹). Os valores de frequência absoluta para essas espécies variaram de 25 a 88% (Tabela 4). A predominância dessas espécies nas categorias DE e PE se deve, provavelmente, a uma proporção superior na ocasião do plantio. *A. mangium* destacou-se por sua dominância no dossel dos reflorestamentos das categorias DE e PE. Por ser de rápido crescimento e apresentar significativa capacidade de adaptação às condições edafoclimáticas brasileiras (DIAS; ALVAREZ; BRIENZA JÚNIOR, 1991), essa espécie representa uma boa opção silvicultural (MARTINS et al., 2012), pois apresenta crescimento rápido, capacidade de fixação de nitrogênio, sendo indicada para programas de revegetação de áreas degradadas. Por ser uma espécie de ciclo de vida curto e considerando a idade desses reflorestamentos (19 anos), em várias parcelas existem indivíduos em senescência.

No fragmento nativo, as espécies com alta densidade absoluta foram *Copaifera langsdorffii* (315 ind.ha⁻¹), *Tapirira obtusa* (228 ind.ha⁻¹), *Nectandra nitidula* (153 ind.ha⁻¹), *Lithraea molleoides* (128 ind.ha⁻¹) e *Protium heptaphyllum* (121 ind.ha⁻¹). Apenas *Tapirira obtusa* apresentou frequência absoluta de 100%. As demais tiveram uma variação de 38 a 88% (Tabela 5). De acordo com Oliveira Filho e Ratter (2000) e Ratter et al. (2006), espécies como *Copaifera langsdorffii* e *T. obtusa* são reconhecidas como de ocorrência comum em matas ciliares e consideradas como generalistas de ampla distribuição.

Analisando as 10 espécies de maior valor de importância, verificou-se que elas representam 46%, 49% e 36% do total do valor de importância das categorias DE, PE e CON, respectivamente (Figura 12). Apenas duas espécies (*Copaifera langsdorffii* e *Peltophorum dubium*) se destacaram simultaneamente entre as 10 de maior valor de importância nas três áreas inventariadas, ambas comuns em remanescentes florestais da região (OLIVEIRA FILHO et al., 1995; VILELA et al., 1997). *C. langsdorffii* é uma espécie que, de maneira geral, cresce melhor em solos de matas ciliares e matas semidecíduas (MACHADO, 1990). Avaliando apenas DE e PE, houve o aumento de espécies compartilhadas entre aquelas com maior valor de importância. Foram elas: *A. mangium*, *Lithraea molleoides* e *Syzygium jambos*. Nota-se que espécies como *A. mangium* e *Piptadenia gonoacantha* destacaram-se por sua importância em DE e PE devido aos altos valores de densidade, frequência e dominância relativas. No fragmento de vegetação nativa, *Persea willdenowii*, *Machaerium villosum* e *Maclura tinctoria* destacam-se pela alta dominância relativa, embora as mesmas se apresentem mal distribuídas no fragmento ao analisar a frequência absoluta (Tabela 4).

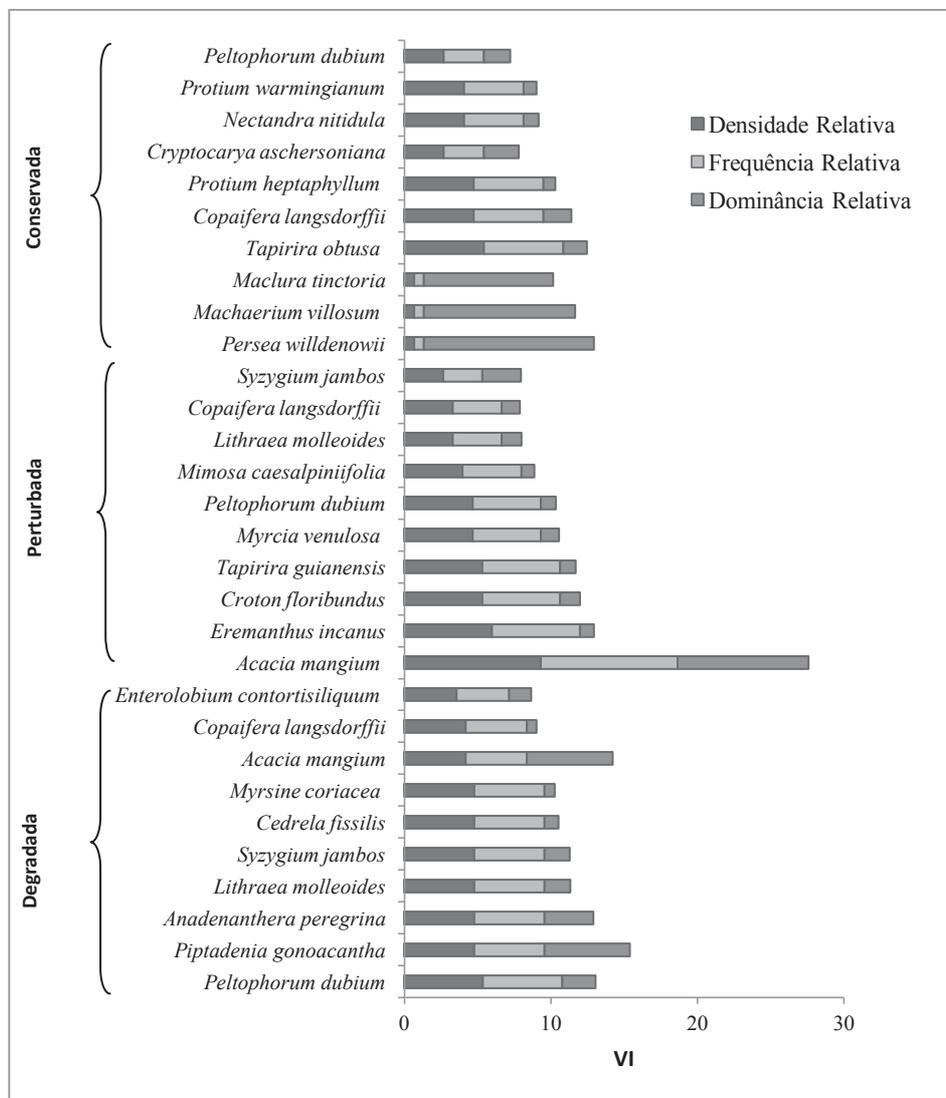


Figura 12 Parâmetros fitossociológicos das 10 espécies com maior Valor de Importância (VI) por níveis diferenciados de perturbação no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG

Tabela 4 Espécies arbóreas registradas em áreas com níveis diferenciados de perturbação no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG

ESPÉCIE	DEGRADADA			PERTURBADA			CONSERVADA		
	Dai	FAi	VI	DAi	FAi	VI	DAi	FAi	VI
<i>Actinostemon concolor</i> (Spreng.) Müll.Arg.	--	--	--	--	--	--	12,50	0,25	1,72
<i>Acacia auriculiformis</i> Benth.	22,92	0,17	2,97	1,56	0,06	0,80	--	--	--
<i>Acacia mangium</i> Willd..	208,33	0,58	20,32	356,25	0,88	38,68	--	--	--
<i>Aegiphila verticillata</i> Vell.	2,08	0,08	0,76	1,56	0,06	0,80	--	--	--
<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll.Arg.	--	--	--	--	--	--	3,13	0,13	4,03
<i>Amaioua intermedia</i> Mart. ex Schult. & Schult.f.	--	--	--	--	--	--	6,25	0,13	1,34
<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.	5--	0,67	8,66	12,50	0,19	3,03	--	--	--
<i>Andira fraxinifolia</i> Benth.	--	--	--	--	--	--	6,25	0,13	1,49
<i>Annona laurifolia</i> (Schltdl.) H.Rainer	--	--	--	--	--	--	6,25	0,25	2,51
<i>Bauhinia forficata</i> Link	--	--	--	--	--	--	3,13	0,13	0,94
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O.Berg	--	--	--	1,56	0,06	0,80	--	--	--
<i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.	--	--	--	--	--	--	9,38	0,13	2,26
<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	4,17	0,08	0,92	--	--	--	--	--	--
<i>Calyptranthes chusiiifolia</i> O.Berg	--	--	--	--	--	--	9,38	0,13	1,24
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	--	--	--	4,69	0,13	1,72	--	--	--
<i>Casearia decandra</i> Jacq.	--	--	--	1,56	0,06	0,80	25,00	0,50	3,57
<i>Casearia lasiophylla</i> Eichler	--	--	--	1,56	0,06	0,80	--	--	--

“Tabela 4, continuação”

ESPÉCIE	DEGRADADA			PERTURBADA			CONSERVADA		
	Dai	Fai	VI	Dai	Fai	VI	Dai	Fai	VI
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	--	--	--	--	--	--	28,13	0,63	3,76
<i>Cecropia hololeuca</i> Miq.	25,00	0,33	4,33	--	--	--	6,25	0,13	1,22
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	41,67	0,67	8,02	12,50	0,19	3,03	--	--	--
<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna	4,17	0,17	1,52	3,13	0,13	1,59	--	--	--
<i>Celtis brasiliensis</i> (Gardner) Planch.	--	--	--	--	--	--	25,00	0,25	2,77
<i>Cheiloclinium cognatum</i> (Miers.) A.C.Sm.	--	--	--	--	--	--	18,75	0,25	2,13
<i>Clitoria fairchildiana</i> Howard	14,58	0,08	1,73	3,13	0,06	0,92	15,63	0,13	3,53
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	35,42	0,58	6,93	25,00	0,31	5,39	315,63	0,88	6,66
<i>Cordia sellowiana</i> Cham.	--	--	--	--	--	--	3,13	0,13	1,29
<i>Croton floribundus</i> Spreng.	--	--	--	32,81	0,50	8,04	3,13	0,13	3,15
<i>Croton urucurana</i> Baill.	4,17	0,17	1,52	--	--	--	--	--	--
<i>Cryptocarya aschersoniana</i> Mez	--	--	--	--	--	--	59,38	0,50	5,12
<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	--	--	--	--	--	--	3,13	0,13	3,20
<i>Dalbergia nigra</i> (Vell.) Allemão ex Benth.	--	--	--	--	--	--	28,13	0,50	3,99
<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.	--	--	--	1,56	0,06	0,80	--	--	--
<i>Daphnopsis fasciculata</i> (Meisn.) Nevlings	--	--	--	--	--	--	3,13	0,13	1,08
<i>Dendropanax cuneatus</i> (DC.) Decne. & Planch.	--	--	--	--	--	--	15,63	0,38	2,39
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	58,33	0,50	8,11	59,38	0,25	7,56	--	--	--
<i>Eremanthus incanus</i> (Less.) Less.	16,67	0,33	3,69	60,94	0,56	11,02	--	--	--

“Tabela 4, continuação”

ESPÉCIE	DEGRADADA			PERTURBADA			CONSERVADA		
	Daí	Faí	VI	Daí	Faí	VI	Daí	Faí	VI
<i>Eriobotrya japonica</i> Lindl	12,50	0,25	2,76	4,69	0,19	2,39	3,13	0,13	1,12
<i>Erythrina falcata</i> Benth.	2,08	0,08	0,76	--	--	--	12,50	0,13	3,18
<i>Erythroxyllum myrsinites</i> Mart.	--	--	--	--	--	--	3,13	0,13	1,18
<i>Eugenia florida</i> DC.	2,08	0,08	0,76	4,69	0,19	2,39	--	--	--
<i>Ficus pertusa</i> L.f.	14,58	0,25	2,93	--	--	--	--	--	--
<i>Gochnatia polymorpha</i> (Less.) Cabrera	--	--	--	--	--	--	12,50	0,38	4,01
<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer	--	--	--	--	--	--	68,75	0,75	4,41
<i>Guatteria nigrescens</i> Mart.	--	--	--	--	--	--	6,25	0,25	1,75
<i>Guazuma crinita</i> Mart.	--	--	--	--	--	--	9,38	0,25	4,39
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	14,58	0,42	4,12	4,69	0,13	1,72	--	--	--
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	6,25	0,17	1,68	1,56	0,06	0,80	3,13	0,13	4,46
<i>Inga marginata</i> Willd.	12,50	0,08	1,57	--	--	--	6,25	0,13	1,36
<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc.	--	--	--	3,13	0,06	0,92	--	--	--
<i>Lafoensia pacari</i> A.St.-Hil.	27,08	0,17	3,29	9,38	0,13	2,11	--	--	--
<i>Lamanonia ternata</i> Vell.	--	--	--	--	--	--	6,25	0,13	1,31
<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz	4,17	0,17	1,52	1,56	0,06	0,80	--	--	--
<i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl.	52,08	0,67	8,82	62,50	0,31	8,48	128,13	0,38	3,76
<i>Luehea grandiflora</i> Mart. & Zucc.	--	--	--	1,56	0,06	0,80	--	--	--
<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stellfeld	--	--	--	--	--	--	3,13	0,13	1,50

“Tabela 4, continuação”

ESPÉCIE	DEGRADADA			PERTURBADA			CONSERVADA		
	Daí	FAI	VI	DAI	FAI	VI	DAI	FAI	VI
<i>Machaerium nycitans</i> (Vell.) Benth.	2,08	0,08	0,76	--	--	--	3,13	0,13	1,55
<i>Machaerium stipitatum</i> (DC.) Vogel	--	--	--	--	--	--	3,13	0,13	0,99
<i>Machaerium villosum</i> Vogel	8,33	0,17	1,84	15,63	0,06	1,96	3,13	0,13	11,00
<i>Maclura tinctoria</i> (L.) Steud.	2,08	0,08	0,76	--	--	--	6,25	0,13	9,52
<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.	--	--	--	--	--	--	6,25	0,25	1,94
<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana	--	--	--	1,56	0,06	0,80	--	--	--
<i>Miconia chartacea</i> Triana	--	--	--	1,56	0,06	0,80	--	--	--
<i>Mimosa bimucronata</i> (DC.) Kuntze	37,50	0,17	4,10	--	--	--	--	--	--
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth.	43,75	0,25	5,18	128,13	0,38	14,55	--	--	--
<i>Mollinedia widgrenii</i> A.DC.	--	--	--	--	--	--	9,38	0,25	1,62
<i>Myrcia venulosa</i> DC.	6,25	0,25	2,28	26,56	0,44	6,85	40,63	0,63	3,93
<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	--	--	--	--	--	--	3,13	0,13	1,03
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult.	29,17	0,67	7,05	17,19	0,25	4,08	6,25	0,25	1,66
<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	54,17	0,50	7,79	15,63	0,06	1,95	--	--	--
<i>Nectandra lanceolata</i> Nees	--	--	--	--	--	--	34,38	0,50	4,25
<i>Nectandra nitidula</i> Nees	12,50	0,25	2,76	--	--	--	153,13	0,75	5,09
<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees	4,17	0,17	1,52	1,56	0,06	0,80	18,75	0,25	2,98
<i>Ocotea aciphylla</i> (Nees) Mez	2,08	0,08	0,76	1,56	0,06	0,80	--	--	--
<i>Ocotea pulchella</i> Mart.	--	--	--	1,56	0,06	0,80	9,38	0,25	3,94

“Tabela 4, continuação”

ESPÉCIE	DEGRADADA			PERTURBADA			CONSERVADA		
	Dai	FAi	VI	DAi	FAi	VI	DAi	FAi	VI
<i>Ocotea oppositifolia</i> S. Yasuda	2,08	0,08	0,76	--	--	--	--	--	--
<i>Ormosia arborea</i> (Vell.) Harms	--	--	--	--	--	--	28,13	0,25	2,05
<i>Palicourea crocea</i> (Sw.) Schult.	--	--	--	--	--	--	3,13	0,13	0,92
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	47,92	0,75	9,10	26,56	0,44	6,85	31,25	0,50	4,52
<i>Pera glabrata</i> (Schott) Poepp. ex Baill.	--	--	--	--	--	--	6,25	0,13	3,21
<i>Persea pyriformis</i> Ness & Mart.,	2,08	0,08	0,76	6,25	0,25	3,18	--	--	--
<i>Persea willdenowii</i> Kosterm.	--	--	--	--	--	--	6,25	0,13	12,29
<i>Picramnia parvifolia</i> Engl.	8,33	0,33	3,04	--	--	--	--	--	--
<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F. Macbr.	79,17	0,67	10,92	32,81	0,13	4,04	--	--	--
<i>Platypodium elegans</i> Vogel	--	--	--	12,50	0,25	3,70	--	--	--
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	--	--	--	--	--	--	121,88	0,88	5,56
<i>Protium pilosissimum</i> Engl.	--	--	--	--	--	--	3,13	0,13	0,94
<i>Protium warmingianum</i> Marchand	--	--	--	--	--	--	31,25	0,75	4,97
<i>Psidium cattleianum</i> Sabine	--	--	--	1,56	0,06	0,80	--	--	--
<i>Psidium guajava</i> L.	8,33	0,25	2,44	--	--	--	21,88	0,38	2,88
<i>Pterodon emarginatus</i> Vogel	--	--	--	1,56	0,06	0,80	--	--	--
<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	10--	0,50	11,34	68,75	0,25	8,33	--	--	--
<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.	--	--	--	--	--	--	3,13	0,13	0,96

“Tabela 4, conclusão”

ESPÉCIE	DEGRADADA			PERTURBADA			CONSERVADA		
	Daí	FAI	VI	DAi	FAI	VI	DAi	FAI	VI
<i>Senna macranthera</i> (Collad.) H.S.Irwin & Barneby	4,17	0,08	0,92	10,94	0,06	1,57	--	--	--
<i>Senna multijuga</i> (L.C.Rich.) H.S.Irwin & Barneby	12,50	0,25	2,76	--	--	--	--	--	--
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Cov.	2,08	0,08	0,76	--	--	--	--	--	--
<i>Syagrus macrocarpa</i> Barb.Rodr.	--	--	--	--	--	--	3,13	0,13	3,20
<i>Styrax leprosus</i> Hook. & Arn.	4,17	0,17	1,52	6,25	0,25	3,18	--	--	--
<i>Swartzia acutifolia</i> Vogel	4,17	0,08	0,92	1,56	0,06	0,80	--	--	--
<i>Syagrus macrocarpa</i> Barb.Rodr.	4,17	0,08	0,92	--	--	--	--	--	--
<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston	156,25	0,67	16,89	79,69	0,25	9,23	--	--	--
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	16,67	0,33	3,69	57,81	0,50	10,10	12,50	0,25	2,03
<i>Tapirira obtusa</i> (Benth.) J.D.Mitch.	2,08	0,08	0,76	1,56	0,06	0,80	228,13	1,00	7,06
<i>Terminalia fagifolia</i> Mart.	--	--	--	--	--	--	3,13	0,13	1,23
<i>Tibouchina sellowiana</i> (Cham.) Cogn.	--	--	--	3,13	0,13	1,59	--	--	--
<i>Vismia brasiliensis</i> Choisy	--	--	--	3,13	0,06	0,92	31,25	0,63	3,87
<i>Vitex polygama</i> Cham.	--	--	--	--	--	--	12,50	0,25	1,69
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	--	--	--	6,25	0,13	1,85	3,13	0,13	1,41
<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) Bureau	--	--	--	9,38	0,19	2,77	--	--	--

Nota: Em que: DAi = densidade absoluta; FAI = frequência absoluta e VI = Valor de importância (%).

5.3 Diversidade florística

Os índices de diversidade de Shannon (H') e as equabilidades de Pielou (J') foram de 3,17; 2,18 e 3,17 e 0,80; 0,71 e 0,76, verificados para as áreas DE, PE e CON, respectivamente. As diferenças entre os valores de H' foram significativas para DE-PE: $t = 5,46$; $p < 0,01$ e PE-CON: $t = 4,50$; $p < 0,01$. Os índices de diversidade de Shannon verificados em DE e CON não apresentaram diferenças significativas ($t = 0,29$; $p > 0,7$). A diversidade das áreas em processo de restauração foi próxima daquelas encontradas em outros estudos em áreas naturais (Quadro 2). Entre os fatores contribuintes para os valores de diversidade encontrados, destaca-se uma maior heterogeneidade ambiental determinada pelo efeito de borda capaz de influenciar a penetração de raios solares, modificando a qualidade e quantidade de luz, a temperatura, a evapotranspiração, a incidência de ventos e a redução da umidade do ar e do solo (BERG; OLIVEIRA FILHO, 1999, 2000; KAPO; CAMARGOS; DANDE, 1997; MURCIA, 1995; RODRIGUES et al., 2003).

A diversidade e equabilidade encontradas para a categoria PE foram as menores (2,18; 0,71) dentre as áreas estudadas e, podem ser consideradas baixas quando comparadas aos valores encontrados nos estudos de Berg e Oliveira Filho (2000) e Oliveira Filho et al. (1994b) realizados na mesma região, que ficaram entre 3,92 e 4,33 e 0,79 a 0,88. O resultado encontrado para a categoria PE deve-se, possivelmente a dominância marcante de poucas espécies (13) com um número grande de indivíduos (218) que dominaram o local.

Quadro 2 Valores de área (ha), abundância (N); riqueza específica (S); índice de diversidade de Shannon (H'); e equitabilidade de Pielou (J')

	LOCAL	A	N	S	H'	J'	FONTE
Reflorestamentos	Camargos (MG) – DE	7,08	620	50	3,17 **	0,80	Este trabalho
	Camargos (MG) – PE	7,13	777	52	2,81 **	0,71	Este trabalho
	Camargos (MG) – COM	1,20	549	64	3,17 **	0,76	Este trabalho
	Camargos (MG)	0,84	2145	141	3,92	0,79	Berg e Oliveira Filho (2000)
	Tarumã (SP)	--	--	29	2,55	--	Melo e Durigan (2009)
Matas maduras	Luminárias/Poço Bonito (MG)	0,48	1045	119	4,20	0,88	Oliveira Filho et al. (1994b)
	Bom Sucesso/Macaia (MG)	0,54	1615	157	4,33	0,86	Oliveira Filho et al. (1994b)
	Madre de Deus (MG)	0,97	1539	111	3,79	0,81	Oliveira Filho et al. (1994b)
	Mata Subestação, Lavras (MG)	8,75	3120	175	4,19	0,81	Espírito-Santo et al. (2002)

* n.s.: diferença não significativa em relação às categorias; ** s: diferença significativa a 5% de probabilidade em relação às demais categorias pelo teste *t* de Hutcheson, para as áreas DE, PE e CON.

5.4 Similaridade florística entre as áreas em processo de restauração e o fragmento de vegetação nativa

Procurou-se verificar se as áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação assemelham-se à mata de vegetação nativa quanto à composição florística. O diagrama de *Venn* (Figura 13) mostrou que 13 espécies foram comuns às três categorias em estudo: *Clitoria fairchildiana*, *Copaifera langsdorffii*, *Croton floribundus*, *Eriobotrya japonica*, *Hymenaea courbaril*, *Lithraea molleoides*, *Machaerium villosum*, *Myrcia venulosa*,

Myrsine coriacea, *Nectandra oppositifolia*, *Peltophorum dubium*, *Tapirira guianensis* e *Tapirira obtusa*. O fato de ter sido encontrado *Clitoria fairchildiana*, *Eriobotrya japonica* e *Hymenaea courbaril* na mata de vegetação nativa deve-se a ocorrência de processo de dispersão nas áreas onde foi efetuado o plantio dessas espécies. Entre as categorias DE e PE foram encontradas 23 espécies em comum. Quanto às espécies exclusivas, foram encontradas nove (22%) espécies na DE, 11 (16,4%) na PE e 39 (61%) na CON (Tabela 5).

As espécies presentes nas áreas DE e PE e que não foram introduzidas pelo plantio, estabeleceram-se por regeneração natural ocasionada pela atuação de agentes dispersores, adicionando maior riqueza de espécies ao local. Algumas espécies foram amostradas como exclusivas dessas áreas, destacando-se: *Acacia auriculiformis*, *Acacia mangium*, *Aegiphila verticillata*, *Anadenanthera peregrina*, *Cedrela fissilis*, *Ceiba speciosa*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Eremanthus incanus*, *Eugenia florida*, *Handroanthus impetiginosus*, *Lafoensia pacari*, *Libidibia férrea*, *Mimosa caesalpiniiifolia*, *Myrsine umbellata*, *Ocotea aciphylla*, *Persea pyrifolia*, *Piptadenia gonoacantha*, *Schinus terebinthifolius*, *Senna macranthera*, *Styrax leprosus*, *Swartzia acutifolia*, *Syzygium jambos* e *Tibouchina sellowiana*. Isso demonstra que tais espécies podem ser empregadas com possibilidade de sucesso em programas de recomposição florestal em sítios com condições físicas e químicas alteradas e com histórico e níveis de degradação e/ou perturbação semelhantes às dos sítios em estudo.

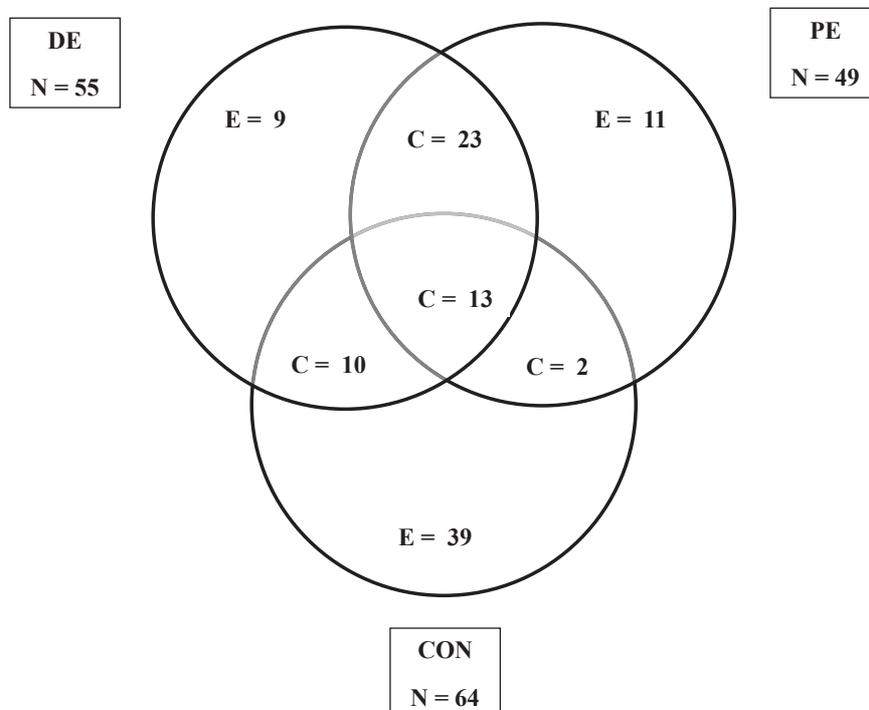


Figura 13 Diagrama de Venn extraído da composição florística das três categorias nas áreas no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga (MG), mostrando o número de espécies compartilhadas

Nota: DE = Degradada; PE = Perturbada; CON = Conservada; E = espécies exclusivas; C = espécies comuns entre as áreas e N = número total de espécies registradas na categoria.

As relações florísticas entre as áreas de estudo são apresentadas na Figura 14. A análise do dendrograma evidenciou a tendência de formação de três grupos, demonstrando que houve heterogeneidade espacial florística. A formação desses grupos foi observada quando adotado um nível de corte de 25% no eixo de escala do dendrograma, já que este ponto é determinante na fusão de “cluster” semelhante, conforme recomendado por Muller-Dombois e Ellenberg

(1974). Nota-se que o grupo 1 foi formado por parcelas de DE e PE, indicando que há espécies arbóreas em comum entre as parcelas dessas categorias. Provavelmente, essa similaridade é consequência do uso de muitas espécies em comum na fase de implantação.

Tabela 5 Espécies arbóreas registradas em áreas com níveis diferenciados de perturbação no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG

ESPÉCIE	OCORRÊNCIA					
	COMPARTILHADA			EXCLUSIVA		
	DE-PE	DE-CON	PE-CON	DE-PE-CON	DE	PE
<i>Acacia auriculiformis</i> Benth.	X					
<i>Acacia mangium</i> Willd.	X					
<i>Actinostemon concolor</i> (Spreng.) Müll.Arg.						X
<i>Aegiphila verticillata</i> Vell.	X					
<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll.Arg.						X
<i>Amatoua intermedia</i> Mart. ex Schult. & Schult.f.						X
<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.	X					
<i>Andira fraxinifolia</i> Benth.						X
<i>Annona laurifolia</i> (Schltdl.) H.Rainer						X
<i>Bauhinia forficata</i> Link						X
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O.Berg						X
<i>Cabranea canjerana</i> (Vell.) Mart.					X	
<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.						
<i>Calyptranthes clusiifolia</i> O.Berg						X
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.						X

“Tabela 5, continuação”

ESPÉCIE	OCORRÊNCIA							
	COMPARTILHADA				EXCLUSIVA			
	DE-PE	DE-CON	PE-CON	CON	DE-PE-	DE	PE	CON
<i>Casearia decandra</i> Jacq.				X				
<i>Casearia lasiophylla</i> Eichler						X		
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.								X
<i>Cecropia hololeuca</i> Miq.			X					
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	X							
<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna	X							
<i>Celtis brasiliensis</i> (Gardner) Planch.								X
<i>Cheiloclinium cognatum</i> (Miers.) A.C.Sm.								X
<i>Clitoria fairchildiana</i> Howard					X			
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.					X			
<i>Cordia sellowiana</i> Cham.								X
<i>Croton floribundus</i> Spreng.					X			
<i>Croton urucurana</i> Baill.							X	
<i>Cryptocarya aschersoniana</i> Mez								X
<i>Cupania vernalis</i> Cambess								X
<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.							X	
<i>Dalbergia nigra</i> (Vell.) Allemão ex Benth.								X
<i>Daphnopsis fasciculata</i> (Meisn.) Nevl.ing								X

“Tabela 5, continuação”

ESPÉCIE	OCORRÊNCIA							
	COMPARTILHADA				EXCLUSIVA			
	DE-PE	DE-CON	PE-CON	DE-PE-CON	DE	PE	CON	CON
<i>Dendropanax cuneatus</i> (DC.) Decne. & Planch.								X
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	X							
<i>Eremanthus incanus</i> (Less.) Less.	X							
<i>Eriobotrya japonica</i> Lindl.				X				
<i>Erythrina falcata</i> Benth.		X						
<i>Erythroxylum myrsinites</i> Mart.								X
<i>Eugenia florida</i> DC.	X							
<i>Ficus pertusa</i> L.f.						X		
<i>Gochnatia polymorpha</i> (Less.) Cabrera								X
<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer								X
<i>Guatteria nigrescens</i> Mart.								X
<i>Guazuma crinita</i> Mart.								X
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	X							
<i>Hymenaea courbaril</i> L.							X	
<i>Inga marginata</i> Willd.		X						
<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc.							X	

“Tabela 5, continuação”

ESPÉCIE	OCORRÊNCIA							
	COMPARTILHADA				EXCLUSIVA			
	DE-PE	DE-CON	PE-CON	DE-PE-CON	DE	PE	CON	CON
<i>Lafoensia pacari</i> A.St.-Hil.	X							X
<i>Lamanonia ternata</i> Vell.								
<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz	X							
<i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl.				X				
<i>Luehea grandiflora</i> Mart. & Zucc.						X		
<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stellfeld								X
<i>Machaerium nycitians</i> (Vell.) Benth.		X						
<i>Machaerium stipitatum</i> (DC.) Vogel								X
<i>Machaerium villosum</i> Vogel				X				
<i>Maclura tinctoria</i> (L.) Steud.		X						
<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.								X
<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana						X		
<i>Miconia chartacea</i> Triana						X		
<i>Mimosa bimucronata</i> (DC.) Kuntze							X	
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth.	X							
<i>Mollinedia widgrenii</i> A.DC.								X

“Tabela 5, continuação”

ESPÉCIE	OCORRÊNCIA							
	COMPARTILHADA				EXCLUSIVA			
	DE-PE	DE-CON	PE-CON	CON	DE-PE-CON	DE	PE	CON
<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.								X
<i>Myrcia venulosa</i> DC.				X				
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult.				X				
<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	X							
<i>Nectandra lanceolata</i> Nees								X
<i>Nectandra nitidula</i> Nees		X						
<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees				X				
<i>Ocotea aciphylla</i> (Nees) Mez	X							
<i>Ocotea oppositifolia</i> S. Yasuda						X		
<i>Ocotea pulchella</i> Mart.								
<i>Ormosia arborea</i> (Vell.) Harms		X						X
<i>Palicourea crocea</i> (Sw.) Schult.								X
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.							X	
<i>Pera glabrata</i> (Schott) Poepp. ex Baill.								X
<i>Persea pyriformis</i> Ness & Mart.,	X							
<i>Persea willdenowii</i> Kosterm.								X
<i>Picramnia parvifolia</i> Engl.						X		

“Tabela 5, continuação”

ESPÉCIE	OCORRÊNCIA							
	COMPARTILHADA				EXCLUSIVA			
	DE-PE	DE-CON	PE-CON	DE-PE-CON	DE	PE	CON	CON
<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr.	X							
<i>Platypodium elegans</i> Vogel						X		
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand								X
<i>Protium pilosissimum</i> Engl.								X
<i>Protium warmingianum</i> Marchand								X
<i>Psidium cattleianum</i> Sabine						X		
<i>Psidium guajava</i> L.				X				
<i>Pterodon emarginatus</i> Vogel								X
<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	X							
<i>Senna macranthera</i> (Collad.) H.S.Irwin & Barneby	X							
<i>Senna multijuga</i> (L.C.Rich.) H.S.Irwin & Barneby						X		
<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.								X
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Cov.						X		
<i>Styrax leprosus</i> Hook. & Arn.	X							
<i>Swartzia acutifolia</i> Vogel	X							
<i>Syagrus macrocarpa</i> Barb.Rodr.				X				
<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston	X							

“Tabela 5, conclusão”

ESPÉCIE	OCORRÊNCIA						
	COMPARTILHADA				EXCLUSIVA		
	DE-PE	DE-CON	PE-CON	DE-PE-CON	DE	PE	CON
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.				X			
<i>Tapirira obtusa</i> (Benth.) J.D.Mitch.				X			
<i>Terminalia fagifolia</i> Mart.							X
<i>Tibouchina sellowiana</i> (Cham.) Cogn.	X						
<i>Vismia brasiliensis</i> Choisy		X					
<i>Vitex polygama</i> Cham.							X
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.			X				
<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) Bureau						X	
Total	23	10	2	13	9	11	39

Já o grupo 2 foi formado exclusivamente por parcelas constituintes do fragmento de vegetação nativa. Isso demonstra baixa similaridade entre o fragmento e as áreas em processo de restauração (PE e DE) quanto à composição florística. Fato que pode justificar essa afirmativa é a ocorrência do impacto e limitações com níveis diferenciados de perturbação no ambiente físico e/ou biótico nas áreas de reflorestamento associados às instalações de geração de energia. De qualquer modo, a restauração não deve ter a pretensão de originar um ambiente igual ao que existia antes, mas, sim, colocar no campo uma composição de espécies, de forma tal que a nova comunidade tenha condições de se desenvolver e ser sustentável. O grupo 3 foi formado por parcelas das áreas PE com exceção de uma parcela da DE.

Quando se realiza a mesma análise, no entanto, para um nível de corte de 37,5%, nota-se a formação do mesmo número de grupos. Já para um nível de 50%, os grupos anteriormente definidos como 1 e 3, se fragmentam em novos grupos nessa nova situação, o que demonstra que as áreas DE e PE não são totalmente homogêneas.

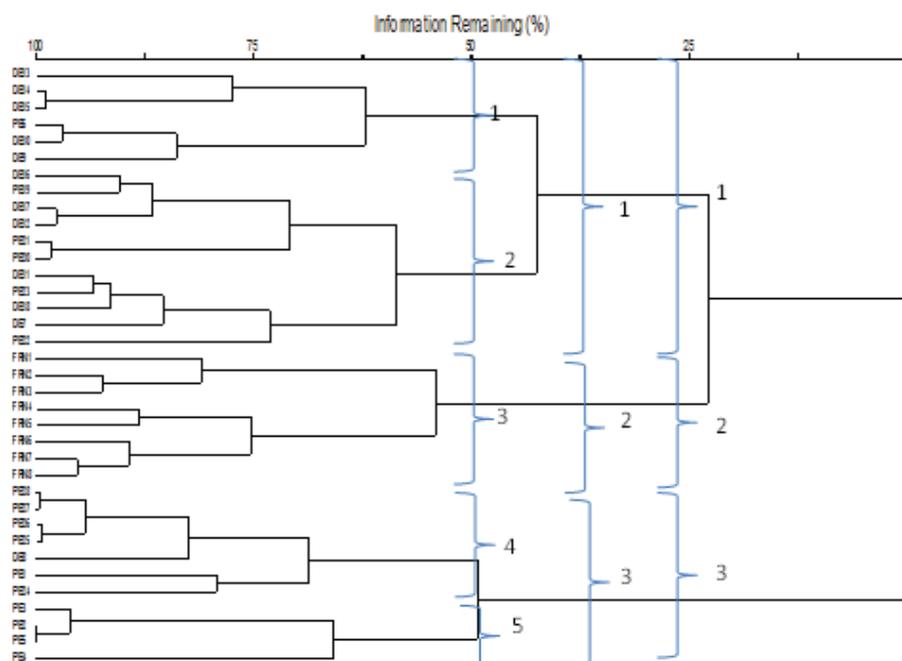


Figura 14 Dendrograma de similaridade entre as 36 parcelas das áreas de reflorestamento ambiental com diferentes níveis de perturbação (DE – Degradada, PE – Perturbada) e do fragmento de Floresta Estacional Semidecidual (FRN) no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG

5.5 Fertilidade do solo

Os resultados das propriedades químicas e a textura dos solos são apresentados na Tabela 6. Os solos apresentaram acidez média (DE) a elevada (PE e CON) e elementos essenciais como P, K, Ca e Mg mostraram-se em níveis muito baixos (ROSSI; POLIDORO, 2008). O teor de Al^{3+} foi muito elevado e a disponibilidade de cálcio muito reduzida na área sob mata (CON). Entre as variáveis edáficas (P, K, S, Al, t, T,V, pH, Argila e Areia), houve diferença significativa entre as categorias de áreas. A baixa disponibilidade de nutrientes

observada na categoria DE, provavelmente, deve-se se a degradação causada pela remoção da vegetação (no caso da área de empréstimo) e pela retirada da camada superficial do solo, expondo o horizonte C (FERREIRA et al., 2007). Deve-se salientar que o solo original dessa área foi retirado em uma profundidade de até 5 m e que, depois de aproximadamente 30 anos, este solo, por ocasião da restauração, foi revolvido, efetuando-se cortes e aterros na área em restauração. Portanto, o substrato resultante deste processo apresentava-se muito alterado em relação ao solo original (FERREIRA et al., 2009).

O pH encontrado variou de 4,01 a 5,03. Houve uma grande variação nos teores de alumínio (Al^{3+}), desde baixo na categoria DE, passando por médio nas áreas PE até alto no fragmento de vegetação nativa (CON). Os valores da matéria orgânica nos fragmentos florestais reflorestados foram médios e, pode-se inferir que, o C em solo é da deposição de serrapilheira proveniente das árvores do plantio de recuperação (FERREIRA et al., 2009). Na categoria CON, a matéria orgânica (MO) foi alta, provavelmente, por se tratar de um local conservado, sem alteração do solo, com maior deposição de serapilheira e maior sombreamento (GONÇALVES; NOGUEIRA JÚNIOR; DUCATTI, 2008), o que contribui para baixas taxas de decomposição da MO. A soma de bases (SB) foi baixa em todas as categorias e o índice de saturação de bases (V) também se mostrou muito baixo. A saturação por bases (V) apresentou média significativamente maior na categoria PE, porém, a SB foi baixa (Tabela 2), mas, em geral, são valores que atestam a elevada acidez e a baixa disponibilidade de cátions básicos nas áreas avaliadas. A capacidade de troca de cátions efetiva (t) foi baixa em todas as categorias, enquanto a capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (T) variou de média (DE e PE) a alta (CON). Há uma relação direta entre o teor de MO e a CTC a pH 7,0, de modo que o maior teor de MO na área sob mata explica a maior capacidade de esse solo reter cátions. Segundo Duarte e Casagrande (2006), a propriedade química mais importante do

solo é a capacidade de troca de cátions (T), ao fato da T ser responsável pela magnitude da retenção e taxa de lixiviação de cátions (Na, K, Ca e Mg) ao longo do perfil do solo, mantendo-os no ambiente do sistema radicular.

De modo geral, os solos das categorias DE e PE apresentam-se como distróficos, ou seja, com baixa fertilidade, e teor de alumínio (Al) variando de baixo a médio (DUARTE; CASAGRANDE, 2006). A categoria CON diferiu das demais, com solos álicos, devido ao alto teor de alumínio e baixa fertilidade (Tabela 2). Não houve diferença significativa entre as três classes de solo para proporções de areia, silte e argila. A análise granulométrica dos solos evidenciou a textura argilosa em 64% das parcelas, sendo que esta predominou em CON (Tabela 6).

Tabela 6 Variáveis químicas e texturais do solo superficial (0-20 cm) coletadas nas parcelas permanentes instaladas nas áreas de reflorestamento ambiental, com diferentes níveis de perturbação, localizadas no entorno do reservatório de Camargo, em Itutinga, Minas Gerais

Variáveis edáficas	DE	PE	CON
pH	5,03±0,35 a	4,68±0,28 b	4,01±0,37 c
P ⁺ (mg/dm ³)	1,16±0,37 a	0,89±0,30 a	1,88±0,53 b
K ⁺ (mg/dm ³)	3,50±0,32 a	3,36±0,38 a	4,23±0,20 b
Ca ⁺² (cmolc/dm ³)	0,57±0,44 a	0,17±0,17 b	0,10±0,18 cb
Mg ⁺² (cmolc/dm ³)	0,26±0,15 a	0,10±0,08 b	0,13±0,04 cb
Al ⁺³ (cmolc/dm ³)	0,32±0,32 a	0,64±0,32 b	1,46±0,43 c
H+AL (cmolc/dm ³)	5,78±2,97 a	7,41±2,25 ad	11,6±1,92 bc
SB ¹ (cmolc/dm ³)	0,75±1,44 a	0,32±0,20 b	0,44±0,15 ab
t ² (cmolc/dm ³)	0,92±0,35 a	0,70±0,20 a	1,10±0,08 ab
T ³ (cmolc/dm ³)	7,13±7,13 a	7,83±2,30 a	12,4±2,06 b

“Tabela 6, conclusão”

Variáveis edáficas	DE	PE	CON
V ⁴ (%)	4,88±0,20 a	19,7±0,08 b	4,5±0,07 bc
M.O. ⁵ (dag/kg)	2,84±0,93 a	3,01±0,94 a	4,0±0,77 ba
P-Rem ⁶	14,3±9,66	14,1±8,59	10,4±2,91
Classe Textural	Média (58%) a Argilosa (42%)	Média (38%) a Argilosa (62%)	Argilosa (100%)

Nota: Os valores são médias \pm desvios-padrão das *N* amostras de cada categoria de área.

¹ Soma de bases trocáveis; ² capacidade de troca catiônica efetiva; ³ capacidade de troca catiônica a pH 7,0; ⁴ índice de saturação de bases; ⁵ matéria orgânica e ⁶ fósforo remanescente.

5.6 Padrões de distribuição das espécies e de variáveis edáficas

Os autovalores (*eigenvalues*) da CCA para os dois primeiros eixos de ordenação (Tabela 8) evidenciaram o gradiente florístico e estrutural entre as áreas reflorestadas (Figura 15). O eixo 1 ilustrou a existência de um gradiente moderado, onde houve a substituição de espécies, enquanto o segundo eixo indicou um gradiente curto. Ou seja, houve variações principalmente quanto às abundâncias das espécies. Reunidos, os três primeiros eixos da ordenação explicaram 21,6% da variação global (Tabela 7), com uma alta variância não explicada remanescente. Porém, essa situação é caracterizada como frequente em estudos da vegetação (BRAAK, 1987). Assim, as variáveis edáficas explicaram parcialmente as relações florísticas e as alterações nas abundâncias das populações nas comunidades arbóreas.

A variância remanescente não explicada associa-se às variáveis ambientais não registradas, como abertura do dossel, proximidade de fontes de propágulos, posição topográfica, interações bióticas (NAPPO; OLIVEIRA

FILHO; MARTINS, 2000), além do próprio histórico de conservação, que se caracteriza como uma variável qualitativa e de difícil mensuração. A CCA produziu valores consideravelmente altos para as correlações espécie-ambiente ($r > 0,8$) para os primeiros eixos (Tabela 7), sendo que os testes de permutação de Monte Carlo indicaram que as abundâncias das espécies e as variáveis edáficas foram significativamente correlacionadas.

As variáveis K, Al e P foram forte e positivamente correlacionadas com o primeiro eixo da ordenação (Tabela 8), enquanto SB e t apresentaram correlações fortes e positivas com o segundo eixo. As variáveis pH e Al foram as únicas significativamente diferentes entre as três categorias de área (Tabela 7) e contribuíram para a segregação entre a área CON e as áreas DE e PE, sendo a primeira com maiores teores de alumínio e pH mais baixo (Figura 15). Soma-se que em CON foram observados os maiores teores de K e P. Por outro lado, a área DE possuiu maior soma de bases trocáveis, além de apresentar maior capacidade de troca catiônica (Tabela 7), sendo estes atributos edáficos aqueles que proporcionaram as principais distinções entre as áreas com histórico de perturbação intenso. A CCA permitiu observar que as variáveis de solo não se distribuem de forma homogênea nas áreas.

De forma antagônica estão as variáveis “pH” (-0,661), “S” (-0,316) e “Argila” (-0,171) que diminuíram ao longo do gradiente DE → FRN. No segundo eixo canônico apenas as variáveis “SB” (0,107) e “t” (0,558) foram as mais importantes, pois, apresentaram correlação acima de 0,5. Houve uma correlação dessas variáveis com as parcelas da categoria DE.

A ordenação ao longo do eixo 1 mostrou a separação das parcelas de acordo com a proporção de nível de distúrbio sofrido. As parcelas puderam ser classificadas nos seguintes grupos: (a) representado pelas parcelas da categoria CON que ocorrem no lado direito da ordenação, com predomínio de solos mais ácidos, de baixa fertilidade, com alto teor de Al, baixa SB, V muito baixo, alto

teor de MO, baixo t e alto T; (b) representado pelas parcelas da categoria DE com ocorrência no lado superior esquerdo com solos menos ácidos, baixa fertilidade, baixo teor de Al, alta SB, V muito baixo, teor médio de MO, baixo t e médio T; e (c) representado por parcelas da categoria PE, que ocorrem no lado inferior esquerdo com solos de baixa fertilidade, teor médio de Al, baixa SB, teor médio de matéria orgânica, baixo t e médio T.

Tabela 7 Síntese das variáveis da estrutura fisionômica, das variáveis relacionadas à diversidade de espécies, da análise de correspondência canônica (CCA) e correlações internas (“intraset”) nos três eixos de ordenação para as espécies arbóreas das áreas de reflorestamento ambiental com diferentes níveis de perturbação no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG

RESUMO CCA	Análise de Correspondência Canônica		
	Eixos		
	1	2	3
Autovalores	0,664	0,306	0,285
Variância dos dados das espécies (%)	11,4	5,3	4,9
Variância explicada cumulativa (%)	11,4	16,7	21,6
Correlações espécie-ambiente	0,961	0,850	0,947
Significância das correlações pelo teste Monte Carlo	0,828	0,868	0,863
	Correlações internas (“intraset”)		
	Eixos		
	1	2	3
pH	-0,661	-0,138	0,240
P	0,761	0,242	-0,057
K	0,884	0,198	-0,153
Al	0,817	-0,184	-0,208
SB	-0,107	0,589	0,357
T	0,558	0,520	0,145
T	0,727	0,242	-0,302

Associada às características edáficas observadas em CON, houve a distribuição das populações de *Actinostemon concolor*, *Andira fraxinifolia*,

Cheiloclinium cognatum, *Cordia sellowiana*, *Daphnopsis fasciculata*, *Gochnatia polymorpha*, *Guatteria nigrescens*, *Machaerium hirtum*, *Myrcia splendens*, *Protium pilosissimum* e *Terminalia fagifolia*, sugerindo que estas têm afinidade por solos argilosos, de pH baixo e aluminizados. Essas espécies se destacaram em abundância e, também, foram correlacionadas com os teores de P e K (Figura 16).

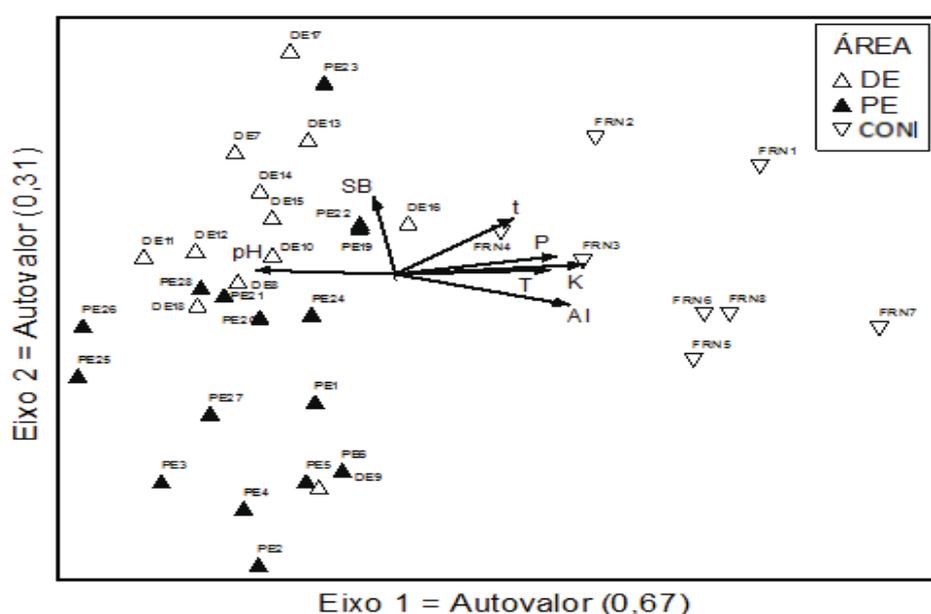


Figura 15 Diagrama de ordenação das parcelas e variáveis ambientais edáficas nos dois primeiros eixos de ordenação produzidos pela análise de correspondência canônica (CCA) computada a partir das comunidades arbóreas inventariadas nas áreas de reflorestamento ambiental com diferentes níveis de perturbação e do fragmento de Floresta Estacional Semidecidual (FRN) no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG

Nota: As parcelas encontram-se representadas por símbolos correspondentes às categorias das áreas com diferentes níveis de perturbação: perturbada (PE); degradada (DE) e conservada (CON). Variáveis edáficas: fósforo (P); potássio (K); alumínio (Al); capacidade de troca cátions efetiva (t); capacidade de troca cátions a pH 7 (T); soma de bases (SB) e pH.

No outro extremo do gradiente, nas áreas onde a acidez foi menos elevada, houve maior representatividade das frações silte e areia e, também, menores capacidade de troca de cátions e saturação por bases. Nessa porção do gráfico ocorreu o agrupamento das parcelas relacionadas à maior abundância das espécies *Calophyllum brasiliense* - espécie higrófila muito tolerante à sombra (VILELA et al., 2000), *Caryocar brasiliense*, *Eremanthus incanus*, *Eugenia florida*, *Luehea grandiflora*, *Mimosa bimucronata* e *Platypodium elegans*. *E. incanus* e *P. elegans* são espécies frequentes em florestas estacionais do domínio Atlântico (OLIVEIRA FILHO; FONTES, 2000), enquanto *Caryocar brasiliense* constitui espécie típica da área do Cerrado (RATTER et al., 1996). Visto que a região se apresenta como área ecotonal entre os domínios Atlântico e de Cerrado, a ocorrência não é surpreendente e evidencia o processo de regeneração natural.

Outras espécies que evidenciaram o progresso da regeneração florestal foram *Calophyllum brasiliense* e *Mimosa bimucronata*, que compreendem espécies associadas à ambientes úmidos, geralmente atreladas a corpos d'água, como é o caso do entorno do reservatório. Por fim, *E. florida* e *L. grandiflora* compreendem espécies de ampla distribuição nas florestas de Minas Gerais (OLIVEIRA FILHO; FONTES, 2000).

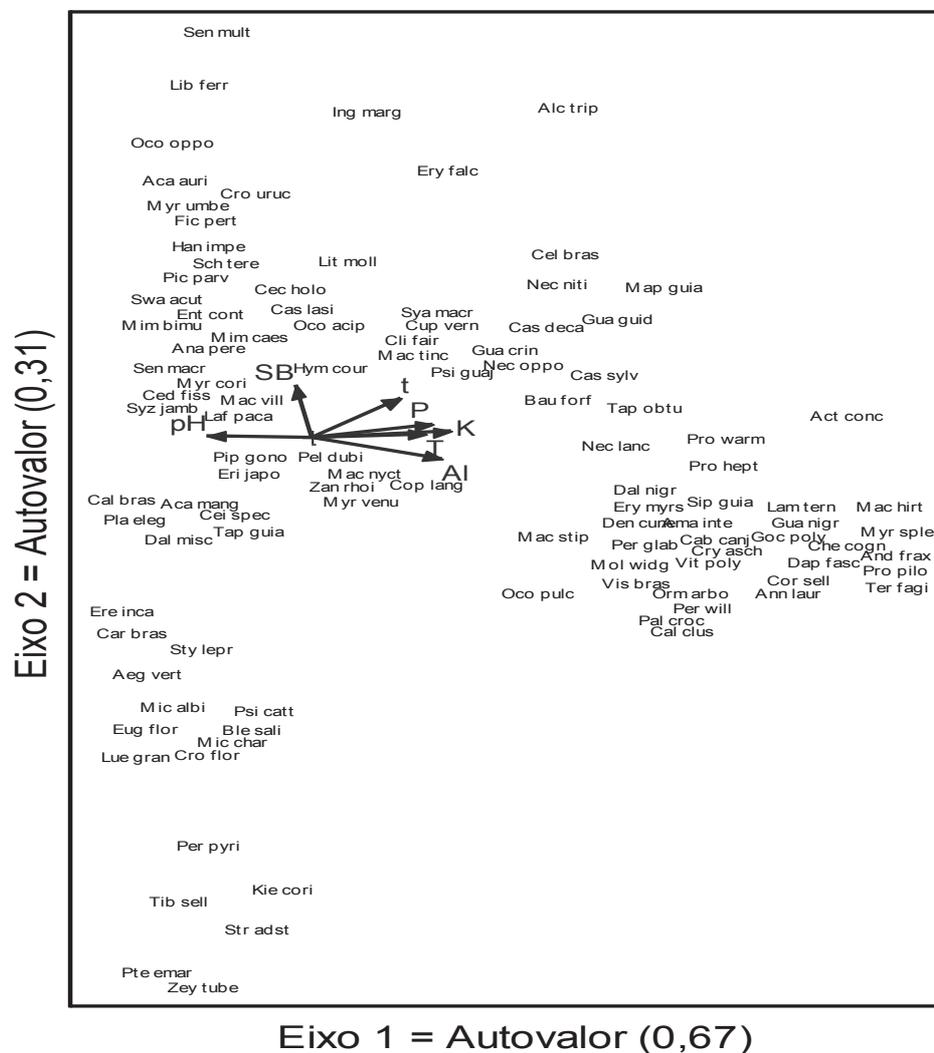


Figura 16 Diagrama de ordenação das espécies e variáveis edáficas nos dois primeiros eixos de ordenação produzidos pela análise de correspondência canônica (CCA) da abundância das espécies distribuídas nas áreas de reflorestamento ambiental com diferentes níveis de perturbação e do fragmento de Floresta Estacional Semidecidual (FRN) no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG

Nota: As espécies são identificadas por seus nomes científicos abreviados. Variáveis edáficas: fósforo (P); potássio (K); alumínio (Al); capacidade de troca catiônica efetiva (t); capacidade de troca catiônica (T); soma de bases (SB) e pH.

5.7 Espacialização do estoque de carbono no estrato arbóreo das áreas em processo de restauração e no fragmento de vegetação nativa

Com base nos valores do Quadro 3, verifica-se que os estoques de carbono encontrados no estrato arbóreo para as áreas das categorias DE, PE e do fragmento de vegetação nativa foi de 33,52 ton.ha⁻¹, 47,43 ton.ha⁻¹ e 42,25 ton.ha⁻¹, respectivamente.

Quadro 3 Valores da análise descritiva e do teste de normalidade Shapiro Wilk para o estoque de carbono (ton.ha⁻¹) no estrato arbóreo das áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e do fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG

Variáveis	ÁREAS		
	DE	PE	CON
Média	33,52	47,44	42,26
Mediana	32,72	43,28	41,70
CV (%)	51,13	64,92	38,37
Desvio padrão	17,14	30,80	16,22
Máximo	75,10	102,09	72,95
Mínimo	14,01	0,51	19,30
Shapiro Wilk	0,87 *	0,96 ns	0,96 ns

*Significativo a 5% de probabilidade

Embora os distúrbios não tenham ocorrido de forma contínua houve um regime de perturbação intenso no caso da categoria DE (constituída pelas áreas caracterizadas como fortemente degradadas, p.e., área de empréstimo) e de forma moderada a leve na PE. Logo, verifica-se que as práticas vegetativas e mecânicas de restauração dessa degradação ocorrida em função da construção da UHE Camargos nos anos 1950 foram eficazes na reabilitação das áreas e,

portanto, capaz de proporcionar um estoque de carbono compatível ao do fragmento de vegetação nativa existente no local.

Parte do estoque de carbono encontrado nas áreas em processo de restauração DE e PE se deve a alta densidade de indivíduos de *A. mangium* caracterizada por um crescimento em diâmetro substancialmente maior que as demais espécies (FERREIRA et al., 2009). A *A. mangium* é uma espécie nativa da Austrália, de rápido crescimento e utilizada em larga escala visando à restauração de áreas degradadas (VOIGTLAENDER et al., 2012). No presente estudo, os resultados conferem à espécie a capacidade não apenas de restaurar áreas degradadas como também de capturar carbono. Esses resultados levam a concluir que em situações de degradação como as estudadas faz-se importante o uso de espécies pioneiras como uma alternativa para acelerar o processo de restauração e capturar carbono. Além disso, a composição de espécies arbóreas desempenha grande influência nos resultados e nem sempre os reflorestamentos com maior densidade de plantio apresentam os maiores ganhos em biomassa e estoque de carbono (MELO; DURIGAN, 2006; MULLER-LANDAU, 2004; SOUZA; SOUZA; MEIRA NETO, 2012). O uso de modelos sucessionais constituídos por espécies pioneiras em altas densidades são capazes de proporcionar ganhos em estoque de carbono (MELO; DURIGAN, 2006). No entanto, vale ainda ressaltar que o estoque de carbono pode variar em função do (a) estágio sucessional (DIAZ-BALTEIRO; RODRIGUEZ, 2006; SOUZA et al., 2011; SOUZA; SOUZA; MEIRA NETO, 2012; WATZLAWICK et al., 2002), (b) grupo ecológico das espécies (BUFO, 2008; SOUZA; SOUZA; MEIRA NETO, 2012); (c) fisionomia florestal (HOUGHTON, 1994; VOGEL; SCHUMACHER; TRUBY, 2006); (d) estrutura fitossociológica (BARNETT; JERONIMIDS, 2003; SWAINE; WHITMORE, 1988), (e) regimes de distúrbios e (f) tipo e fertilidade do solo (MELO; DURIGAN, 2006). Wang, Fang e Zhu (2008) acrescentam a capacidade produtiva do sítio como capaz de influenciar a

produção de biomassa do estrato arbóreo da vegetação. Vogel, Schumacher e Truby (2006) acrescentam fatores ambientais como luz, temperatura, concentração de CO₂ do ar e doenças. Segundo os autores os fatores internos como idade, estrutura e disposição das folhas, distribuição e comportamento dos estômatos, teor de clorofila e acúmulo de hidratos de carbono também são capazes de afetar o acúmulo de biomassa, pois afetam a fotossíntese e a respiração.

As estimativas do estoque de carbono do presente estudo foram compatíveis aos valores encontrados por Ferreira (2009) para Florestas Estacional Semidecidual secundárias. Em Cerrado *Senso Stricto* o estoque de carbono tem demonstrado valores abaixo do encontrado para as áreas em estudo: Jacovine et al. (2006), Müller et al. (2009), Paiva, Rezende e Pereira (2011), Rezende e Felfili (2004) e Scolforo et al. (2008) (Quadro 3). Ribeiro et al. (2010, 2011) verificaram para uma capoeira de estágio médio de sucessão (30 anos) localizada na Zona da Mata (MG) um estoque de carbono de 19,50 ton.ha⁻¹ para o componente arbóreo (DAP \geq 5,0 cm), ou seja, inferior aos resultados encontrados no presente estudo. Já em estágio avançado de sucessão, o estoque de carbono da vegetação encontrado por Souza et al. (2001) foi superior, ou seja, 75 ton.ha⁻¹ (Quadro 4). Quando comparado a estoques de carbono na Floresta Amazônica nota-se que os valores do estoque de carbono das áreas do entorno da UHE de Camargos (MG) também são inferiores. Finalmente, constatou-se que o estoque de carbono nas áreas das categorias DE e PE (com 19 anos de idade) equivale aos resultados de reflorestamentos de 6 e 7 anos na região da UHE Volta Grande (FERREIRA, 2009). Todavia, vale ressaltar que as áreas estudadas pelo autor sofreram perturbações leves, possuem solos mais férteis e um maior potencial de crescimento.

Quadro 4 Estoque de carbono no estrato arbóreo em florestas com diferentes idades, grau de degradação e fitofisionomia

CATEGORIA	ESTOQUE DE CARBONO (ton.ha ⁻¹)	FONTE
Floresta Estacional Semidecidual	151,83	Scolforo et al. (2008)
Floresta Estacional Semidecidual (secundária – 15 a 17 anos) - Área perturbada	23,60-82,00	Ferreira (2009)
Floresta Estacional Semidecidual (secundária – 15 a 17 anos) - Área degradada	33,60	Ferreira (2009)
Floresta Estacional Semidecidual Montana	83,34	Ribeiro et al. (2009)
Floresta Estacional Semidecidual Submontana (secundária - 20 anos) - Regeneração média	35,87-36,54	Souza et al. (2011)
Floresta Estacional Semidecidual Submontana (secundária - 20 anos) - Regeneração avançada	73,42 – 79,38	Souza et al. (2011)
Floresta Estacional Semidecidual Montana (capoeira – 30 anos)	19,50	Ribeiro et al. (2010)
Floresta Estacional Decidual	38,10	Scolforo et al. (2008)
Floresta Ombrófila	196,66	Scolforo et al. (2008)
Cerradão	31,78	Scolforo et al. (2008)
Cerrado <i>Sensu Stricto</i> (Fazenda UnB – DF)	8,60	Paiva, Rezende e Pereira (2011)
Cerrado <i>Sensu Stricto</i>	3,71-13,27	Rezende e Felfili (2004)
Cerrado <i>Sensu Stricto</i>	14,21	Scolforo et al. (2008)
Cerrado <i>Sensu Stricto</i>	4,93	Rezende (2002)
Campo Cerrado	5,34	Scolforo et al. (2008)
Amazônia	177	Higuchi e Carvalho Júnior (1994)
Sistema Agrossilvipastoril – <i>Eucalyptus grandis</i> (Zona da Mata Mineira) com 11 anos de idade	11,17	Müller et al. (2009)
Sistema Agrossilvipastoril - Plantio de <i>Acacia mangium</i> com 10 anos de idade	3,12	Müller et al. (2009)
Plantio com espécies arbóreas: <i>Eucalyptus grandis</i> + <i>Acacia mangium</i>	14,29	Müller et al. (2009)
Plantio de pinus	4,08	Jacovine et al. (2006)

O melhor modelo espacial ajustado de semivariograma para retratar a continuidade espacial do estoque de carbono (ton.ha⁻¹) nas áreas em processo de

restauração e no fragmento de vegetação nativa foi o exponencial para o compartimento estrato arbóreo. Morais (2012), estudando o estoque de carbono em fragmento de Cerrado observou que os modelos exponencial e o esférico foram os que tiveram melhor desempenho. A Figura 17 indica os parâmetros ajustados: patamar, efeito pepita (τ^2) e alcance (θ). Com base no semivariograma do estoque de carbono para o estrato arbóreo nota-se que houve um maior valor de efeito pepita ($153,53 \text{ ton.ha}^{-1}$) quando comparado aos demais compartimentos. Além disso, houve demonstração de dependência espacial do estoque de carbono nesse compartimento sendo que a contribuição foi de $805,14 \text{ ton.ha}^{-1}$, dentro de um alcance de $100,73 \text{ m}$.

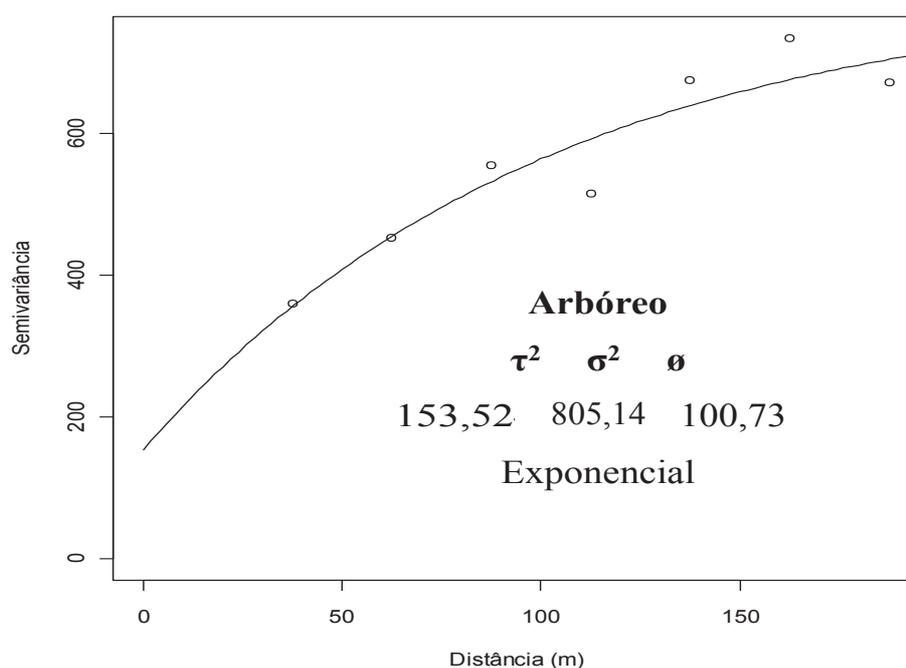


Figura 17 Semivariograma ajustado para o estoque de carbono no estrato arbóreo nas áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e do fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga (MG)

De posse dos modelos ajustados e seus respectivos parâmetros, foi possível realizar a interpolação espacial (krigagem) e analisar a forma com que o estoque de carbono no compartimento arbóreo se distribui espacialmente nas áreas em processo de restauração. A Figura 18 mostra o mapa de krigagem realizado para esse compartimento distribuído espacialmente nas áreas em processo de restauração e no fragmento de vegetação nativa.

Houve uma grande heterogeneidade espacial na distribuição do estoque de carbono no compartimento arbóreo nas áreas em processo de restauração (Figura 19). A maior parte do estoque de carbono no estrato arbóreo concentra-se, predominantemente, nas áreas em processo de restauração R_1 (PE) e R_2 (DE). Observa-se, embora em menor escala, que o estoque de carbono referente a classe 3 (31,31 a 37,92 $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) encontra-se distribuído parte no fragmento R_3 (DE) e parte no fragmento de vegetação nativa (CON). Observou-se, ainda, que as maiores taxas de estoque de carbono (68,71 a 102,09 $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) concentraram-se em duas manchas localizadas uma na extremidade superior à direita no R_5 (PE) e a outra na porção inferior do R_1 (PE). Essa heterogeneidade espacial dos estoques de carbono no estrato arbóreo das áreas em processo de restauração estão associadas à presença de indivíduos com distribuição irregular nas áreas em processo de restauração, sendo este o principal responsável pelas maiores concentrações de estoque de carbono da classe 3 distribuído parte na área R_3 (DE) e parte no fragmento de vegetação nativa (CON). Essa constatação da grande heterogeneidade espacial do estoque de carbono nas áreas em processo de restauração vai de encontro às afirmações de Braga e Rezende (2007), Mendonça et al. (1998), Oliveira Filho (1994) e Walter (2006), de que as comunidades florestais tropicais constituem-se em um mosaico de estágios, com arranjos de espécies e indivíduos em diferentes fases de regeneração. Portanto, o conhecimento da distribuição espacial constitui-se em ferramenta fundamental para subsidiar estudos de como as práticas de restauração implantadas

influenciaram na dinâmica da comunidade florestal estabelecida. Além disso, isso faz com que haja subsídios para o monitoramento dos programas de restauração de áreas degradadas.

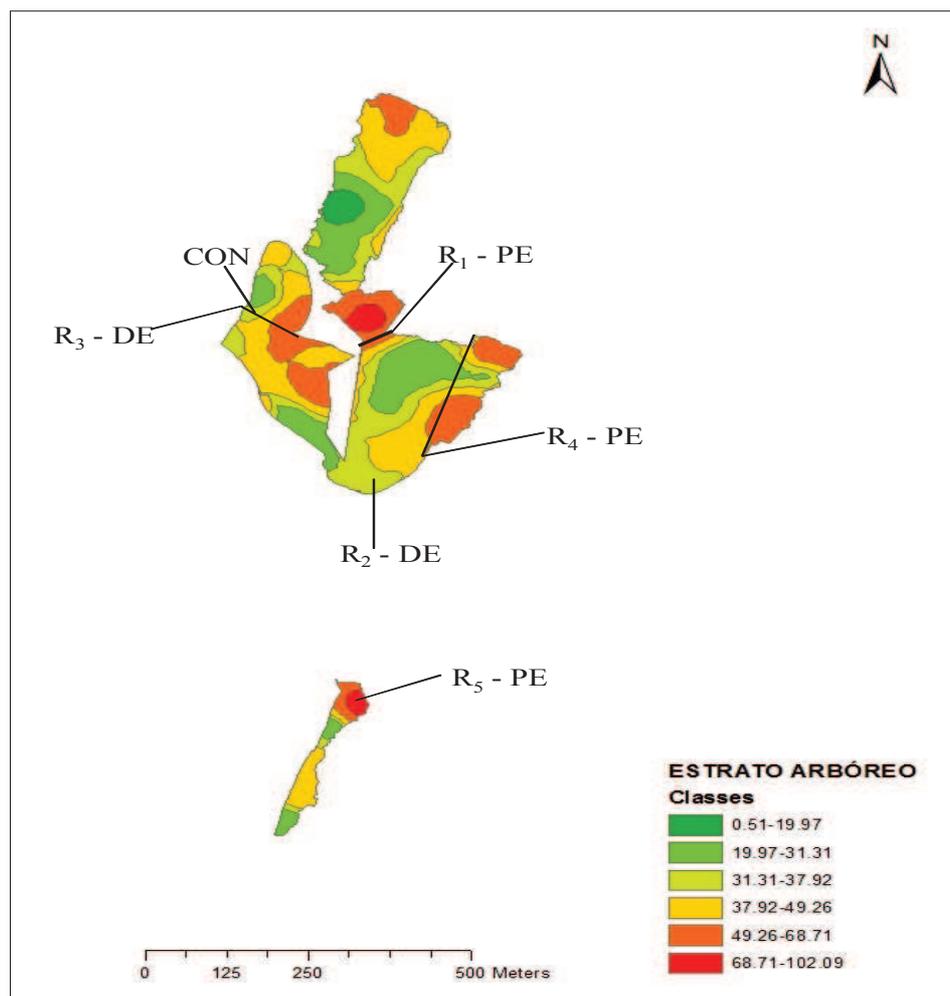


Figura 18 Distribuição espacial do estoque de carbono (ton.ha⁻¹) no estrato arbóreo nas áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e no fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga (MG)

5.8 Espacialização do estoque de carbono na serrapilheira acumulada sobre o solo das áreas em processo de restauração florestal e no fragmento de vegetação nativa

A espacialização do estoque de carbono na serrapilheira foi realizada considerando as seguintes frações:

5.8.1 Estoque de carbono no material não lenhoso (M_{NL})

O Quadro 5 apresenta a síntese dos principais resultados referentes a análise descritiva e normalidade de Shapiro Wilk na serrapilheira (material não lenhoso) depositada sobre o solo florestal nas áreas em processo de restauração e no fragmento de vegetação nativa. Esses resultados referem-se à avaliação feita em 144 pontos de coleta alocados em 36 parcelas distribuídas em 6 fragmentos diferenciados entre si por 3 níveis de perturbação localizados no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG. Foram encontrados $1,59 \text{ ton.ha}^{-1}$, $1,44 \text{ ton.ha}^{-1}$ e $1,50 \text{ ton.ha}^{-1}$ de carbono para as áreas estudadas das categorias DE, PE e CON, respectivamente (Quadro 5). Esses resultados foram abaixo dos valores encontrados na literatura em florestas com diferentes idades, grau de degradação e fitofisionomia (Quadro 6).

Quadro 5 Valores da análise descritiva e do teste de normalidade Shapiro Wilk para o estoque de carbono na serapilheira acumulada (material não lenhoso - M_{NL}) das áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e do fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG

Variáveis	ÁREAS		
	DE	PE	CON
Média	1,59	1,44	1,50
Mediana	1,68	1,50	1,50
CV (%)	23,10	24,47	22,35
Desvio padrão	0,38	0,35	0,33
Máximo	2,07	1,88	1,92
Mínimo	0,90	0,68	0,88
Shapiro Wilk	0,92 ns	0,90 *	0,94 ns

*Significativo a 5% de probabilidade

Os baixos valores de estoque de carbono encontrados nas áreas estudadas devem-se, provavelmente, ao estágio avançado de decomposição da serapilheira coletada para o estudo. Foram encontrados estoques de serapilheira acumulada na ordem de 3,68 ton.ha⁻¹, 4,62 ton.ha⁻¹ e 2,52 ton.ha⁻¹, para os fragmentos das categorias DE, PE e CON, respectivamente. Nota-se, portanto, que esses valores foram abaixo do esperado, pois em florestas tropicais, a quantidade de material formador da serapilheira varia entre 3,6 e 12,4 ton.ha⁻¹ (ANDRADE et al., 1999). Sendo assim, devido à sazonalidade há produção de biomassa de serrapilheira ao longo do ano e isso faz com que sejam necessárias várias coletas ao longo do ano para se ter uma simulação fidedigna do que ocorre no campo em termos de materiais depositados sobre o solo pelas plantas. Sugere-se, portanto, para trabalhos futuros a avaliação por meio de telas suspensas de modo a evitar o contato do material vegetal com o solo. Todavia, sabe-se que, para uma mesma produção e deposição de biomassa vegetal no solo, o teor de matéria orgânica pode variar de solo para solo, tendo em vista a qualidade do material aportado e a influência de diversos fatores sobre a

microbiota do solo e, conseqüentemente, sobre a taxa de decomposição (COSTA et al., 2009). Logo, a produção de serapilheira pode ser afetada por vários fatores bióticos e abióticos como o tipo de vegetação, altitude, latitude, precipitação, temperatura, regimes de luminosidade, deciduidade da vegetação, estágio sucessional, disponibilidade hídrica e características do solo (PINTO et al., 2005). Schumacher et al. (2003) afirmam que os valores de serapilheira acumulada tendem a aumentar com a idade da vegetação até atingir um certo equilíbrio quando as taxas de deposição e decomposição se equivalem.

Quadro 6 Estoque carbono na serapilheira em florestas com diferentes idades, grau de degradação e fitofisionomia

CATEGORIA	ESTOQUE DE CARBONO (ton.ha⁻¹)	FONTE
Cerrado <i>Sensu Stricto</i>	2,32-4,83	Paiva, Rezende e Pereira (2011)
Cerrado <i>Sensu Stricto</i>	1,40-3,80	Morais (2012)
Amazônia	10,31	Fearnside (1994)
Floresta Ombrófila Densa Montana (secundárias – 40 anos de idade)	8,50-8,80	Cunha et al. (2009)
Mata Atlântica - tipo Montana	8,60 a 9,20	Oliveira e Lacerda (1993)
Plantio - Capoeira	3,40	Gama-Rodrigues, Gama-Rodrigues e Barros (2008)
Plantio – Estágio avançado	4,30	Gama-Rodrigues, Gama-Rodrigues e Barros (2008)

O melhor modelo espacial ajustado de semivariograma para retratar a continuidade espacial do estoque de carbono (ton.ha⁻¹) na serapilheira (material

não lenhoso) nas áreas em processo de restauração e no fragmento de vegetação nativa foi o Gaussiano (Figura 19).

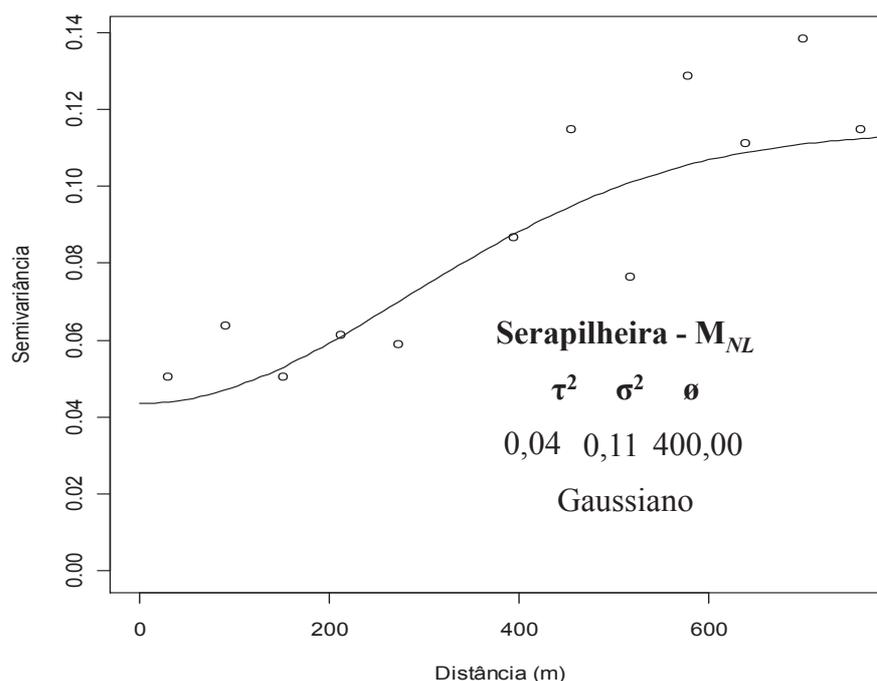


Figura 19 Semivariograma ajustado para o estoque de carbono na serapilheira (material não lenhoso - M_{NL}) nas áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e do fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga (MG)

Como pode ser observado na Figura 19, os resultados das parcelas tiveram um alcance 400,00 m para o estoque de carbono presente na serapilheira (material não lenhoso), superior ao estoque de carbono dos demais compartimentos estudados. Isso demonstra que a homogeneidade dos valores de estoque de carbono na serapilheira (material não lenhoso - M_{NL}) ocorre em uma área de maior raio. Para o estoque de carbono na serapilheira (material não

lenhoso - M_{NL}) há maior descontinuidade na distribuição espacial desses valores. Estes resultados são importantes para o planejamento experimental das áreas estudadas, devendo ser levados em consideração nas propostas futuras de manejo e no refinamento das atividades de pesquisa, assim como na determinação do número de pontos que devem ser amostrados para atingir melhor representatividade (SOUZA et al., 2001). Com base nesses autores, como as análises geoestatísticas revelaram dependência espacial moderada, sugere-se a utilização do alcance das variáveis estudadas na realização de futuras amostragens.

Foi levado em consideração o efeito pepita observado (CAMBARDELLA et al., 1994). Por esse critério, observou um Menor efeito pepita, indicando que da variação total do estoque de carbono, $0,04 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ é aleatória e $0,11 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ pode ser explicada por um componente espacial.

Ao se observar a Figura 20, que corresponde ao estoque de carbono na serapilheira (material não lenhoso - M_{NL}) pode-se perceber visivelmente um comportamento mais homogêneo do estoque de carbono distribuído nas áreas em processo de restauração da categoria R_2 e R_3 (DE) e R_1 e R_4 (PE). Embora em menor proporção, o estoque de carbono representado pela classe 5 foi encontrado distribuído em sua totalidade no fragmento R_5 (PE).

Esperava-se que a maior densidade de indivíduos de *A. magium* nas áreas da categoria PE fosse influenciar o estoque de carbono no material não lenhoso já que essa espécie é capaz de contribuir consideravelmente no acúmulo de biomassa sob o solo em forma de serapilheira (SAHARJO; WATANABE, 2000; ZHANG; GUAN; SONG, 2012). Quando comparado a outros ecossistemas florestais o estoque de carbono contido na biomassa da serapilheira acumulada nas áreas em processo de restauração da categoria PE foi inferior à maioria dos trabalhos reportados na literatura: Cunha et al. (2009), Fearnside (1994) e Oliveira e Lacerda (1993) (Quadro 4). Esse menor estoque de

carbono foi equivalente apenas ao valor encontrado por Moraes (2012) em um dos fragmentos de Cerrado *Senso Stricto*.

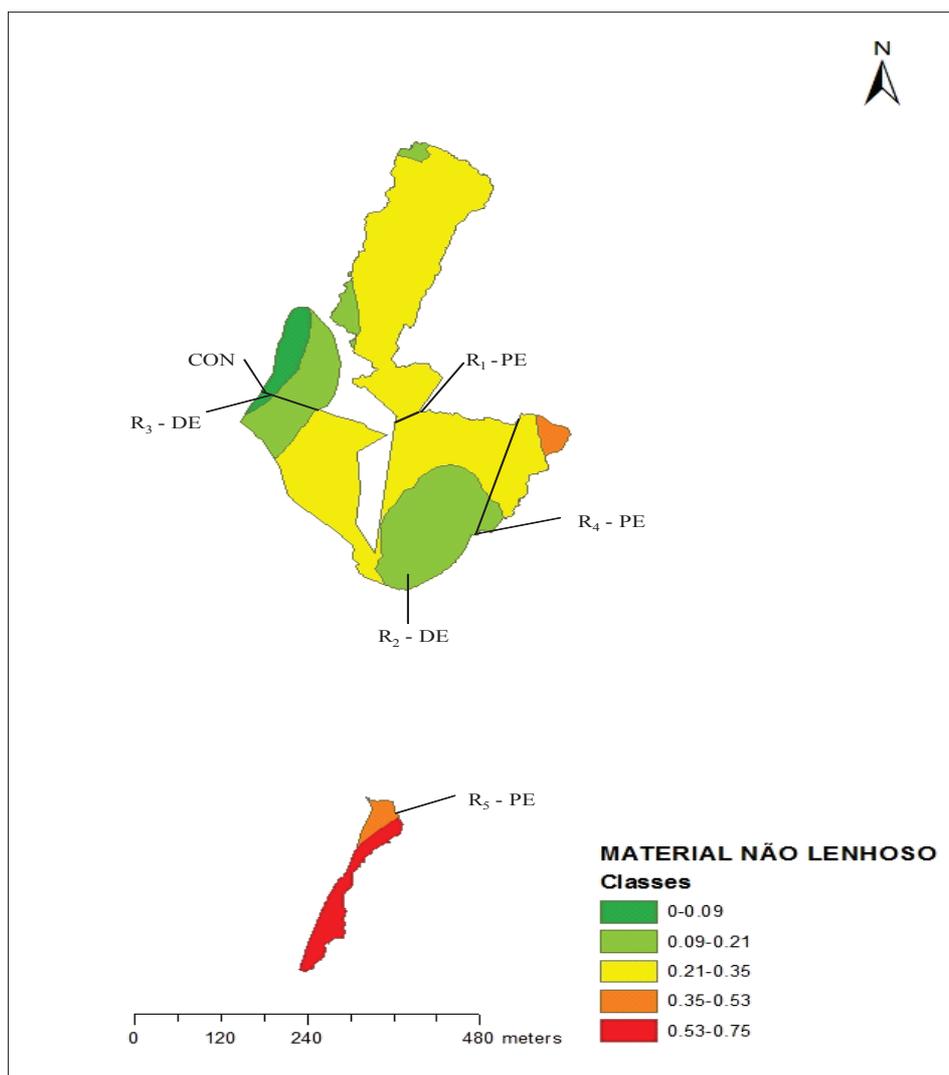


Figura 20 Distribuição espacial do estoque de carbono ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) na serapilheira acumulada (material não lenhoso - M_{NL}) sobre o solo nas áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e no fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga (MG)

5.8.2 Estoque de carbono no material lenhoso (M_L)

O estoque de carbono no material lenhoso constituído por galhos, troncos e cascas depositados sobre o solo florestal foi de 0,37 ton.ha⁻¹, 0,58 ton.ha⁻¹ e 0,08 ton.ha⁻¹ nos fragmentos DE, PE e CON, respectivamente (Quadro 7). O maior estoque de carbono nas áreas da categoria PE resulta da maior densidade de indivíduos de *A. mangium* senescentes ou em processo de senescência. Segundo Saharjo e Watanabe (2000) e Zhang, Guan e Song (2012), a *A. mangium* é uma espécie capaz de contribuir consideravelmente no acúmulo de biomassa sobre o solo em forma de serapilheira.

Quadro 7 Valores da análise descritiva e do teste de normalidade Shapiro Wilk para o estoque de carbono na serapilheira acumulada (material lenhoso) das áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e do fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG

Variáveis	ÁREAS		
	DE	PE	CON
Média	0,37	0,58	0,08
Mediana	0,38	0,61	0,07
CV (%)	46,19	50,96	26,16
Desvio padrão	0,17	0,30	0,02
Máximo	0,68	1,02	0,11
Mínimo	0,00	0,15	0,04
Shapiro Wilk	0,96 ns	0,93 ns	0,95 ns

Avaliando a razão do efeito pepita sobre o patamar para a variável estudada, observou-se que o estoque de carbono no material lenhoso (M_L) apresentou dependência espacial moderada, segundo os critérios estabelecidos por Cambardella et al. (1994) e Trangmar, Yost e Uehara (1985).

O modelo espacial de semivariograma que melhor se ajustou para retratar a continuidade espacial do estoque de carbono foi o Gaussiano, com alcance de 39,94 e patamar de 0,14 (Figura 21).

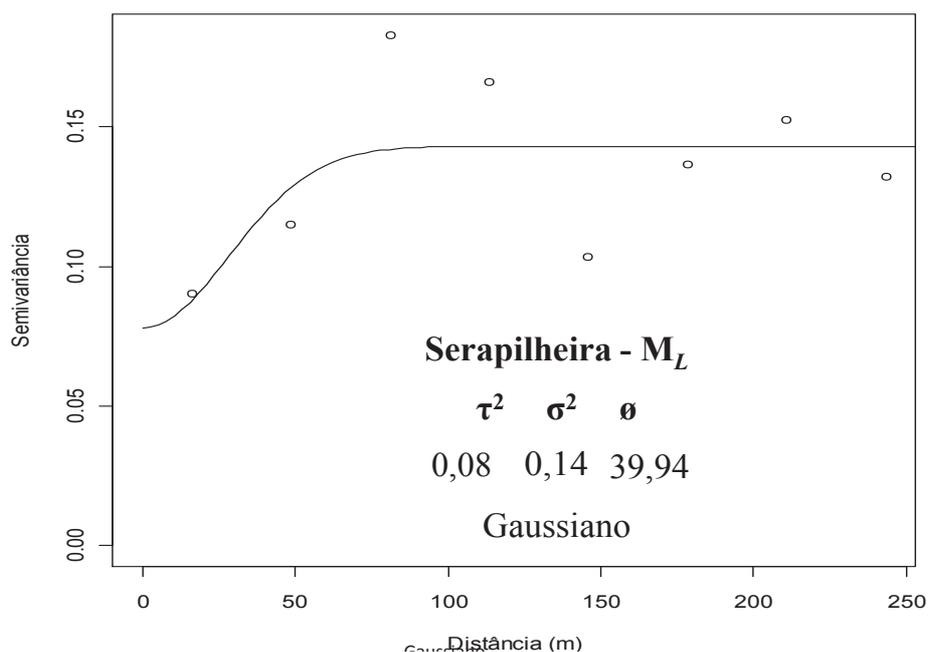


Figura 21 Semivariograma ajustado para o estoque de carbono na serapilheira (material lenhoso - M_L) nas áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e do fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga (MG)

De posse dos modelos ajustados e seus respectivos parâmetros, foi possível realizar a interpolação espacial (krigagem) do estoque de carbono na serapilheira (material lenhoso - M_L). A Figura 22 mostra o mapa de krigagem realizado para esse compartimento distribuído espacialmente nas áreas em processo de restauração e no fragmento de vegetação nativa. Ao contrário do estoque de carbono na serapilheira (material não lenhoso - M_{NL}), o estoque de carbono na serapilheira (material lenhoso - M_L) representado por galhos, troncos

e cascas caídas apresenta-se distribuído de forma bastante heterogênea nas áreas em processo de restauração. Portanto, é importante a realização de trabalhos que visem obter um maior entendimento dos fatores capazes de influenciar o estoque de carbono, dentre eles o grau de perturbação das áreas. As maiores concentrações de estoque de carbono ocorrem distribuídos nas áreas: R₁ (PE), R₂ (DE), R₃ (DE) e fragmento de vegetação nativa (CON).

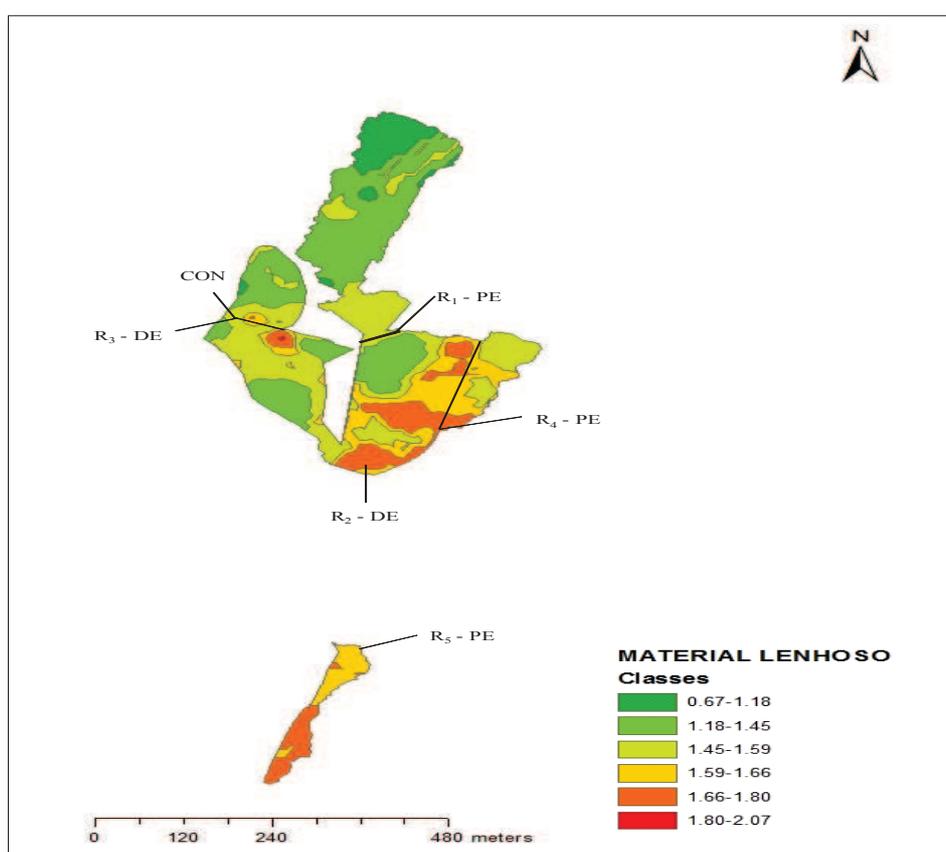


Figura 22 Distribuição espacial do estoque de carbono (ton.ha⁻¹) na serapilheira acumulada (material lenhoso - M_L) sobre o solo nas áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e no fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga (MG)

5.9 Estoque de carbono orgânico (CO) no solo

Os estoques de CO no solo nas áreas em processo de restauração e no fragmento de vegetação nativa nas diferentes profundidades são apresentados na Tabela 17. Ao avaliar o estoque de CO em relação às profundidades, observa-se que de 0 a 10 cm foram encontrados $57,50 \text{ ton.ha}^{-1}$, $32,19 \text{ ton.ha}^{-1}$ e $29,43 \text{ ton.ha}^{-1}$, nas categorias CON, DE e PE, respectivamente (Quadro 8 e 9). Nos estudos de Morais (2012), em fragmentos de Cerrado, os maiores valores de estoque de CO também foram encontrados na camada superficial (0 a 10 cm). Esses resultados corroboram com Szakacs (2003) de que existe uma tendência decrescente de carbono em função da profundidade. O maior acúmulo de CO na superfície do solo era esperado e pode ser explicado pela adição de material orgânico proveniente, principalmente, da serapilheira à medida que vai sendo humificada (MAFRA et al., 2008). Novaes Filho et al. (2007) acrescentam que nas camadas superficiais predomina o processo de ciclagem de nutrientes, principalmente, pela queda de árvores grandes. É na superfície do solo que predomina a ciclagem de nutrientes em decorrência dos processos de troca mais intensos e deposição (SCHUMACHER et al., 2003). Na profundidade de 10 a 20 cm foram encontrados estoques de $33,32 \text{ ton.ha}^{-1}$, $38,23 \text{ ton.ha}^{-1}$ e $28,04 \text{ ton.ha}^{-1}$ na CON, DE e PE, respectivamente.

Quadro 8 Valores da análise descritiva e do teste de normalidade Shapiro Wilk para o estoque de carbono CO no solo (profundidade de 0 a 10 cm) das áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e do fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG

Variáveis	ÁREAS		
	DE	PE	CON
Média	32,19	29,43	57,50
Mediana	29,70	32,19	32,77
CV (%)	50,22	28,60	30,40
Desvio padrão	14,78	16,45	9,78
Máximo	52,71	60,42	82,52
Mínimo	14,23	5,30	30,95
Shapiro Wilk	0,96	0,92	0,98

*Significativo a 5% de probabilidade

Quadro 9 Valores da análise descritiva e do teste de normalidade Shapiro Wilk para o estoque de carbono CO no solo (profundidade de 10 a 20 cm) das áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e do fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG

Variáveis	ÁREAS		
	DE	PE	CON
Média	38,23	28,04	33,32
Mediana	30,76	36,04	26,76
CV (%)	48,16	37,63	75,10
Desvio padrão	13,50	12,54	28,71
Máximo	122,22	55,36	48,11
Mínimo	8,31	3,90	9,51
Shapiro Wilk	0,77 **	0,94 ns	0,91 ns

*Significativo a 5% de probabilidade

Com base na análise do semivariograma foi possível descrever a variação espacial e o melhor modelo espacial ajustado de semivariograma para retratar a continuidade espacial do estoque de carbono ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) no solo na profundidade de 0 a 10 cm foi o Gaussiano, com alcance de 93,04 e dependência espacial moderada (Figura 23). Na profundidade de 10 a 20 cm o modelo Exponencial mostrou melhor ajuste, houve dependência espacial, embora baixa, e o efeito pepita foi de 50,95 (Figura 24).

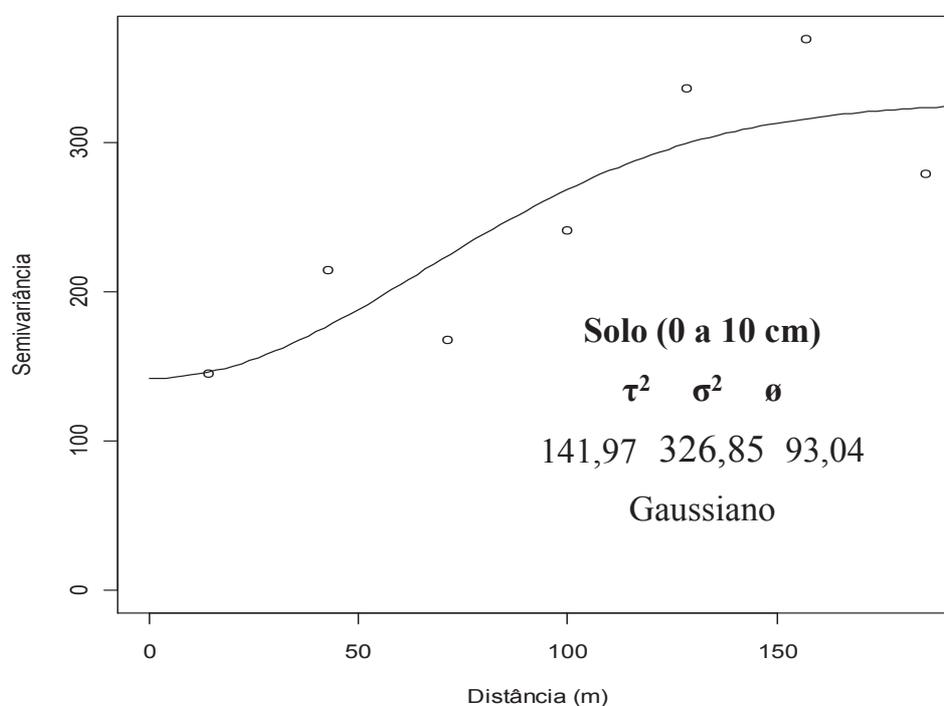


Figura 23 Semivariograma ajustado para o estoque de carbono no solo (0 a 10 cm) nas áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e do fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga (MG).

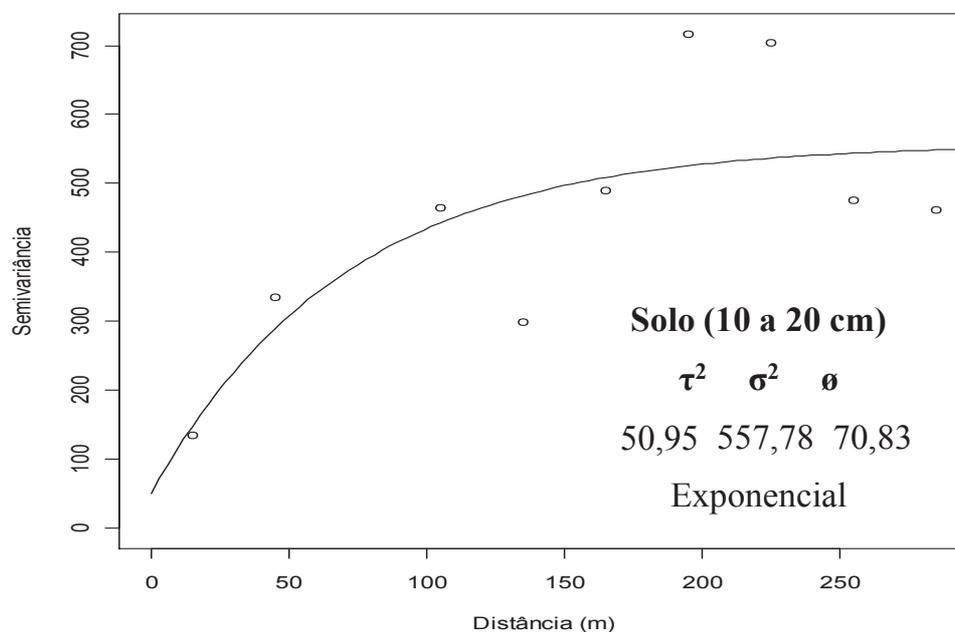


Figura 24 Semivariograma ajustado para o estoque de carbono no solo (10 a 20 cm) nas áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e do fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga (MG)

A Figura 25 ilustra a distribuição espacial do estoque de carbono no solo na profundidade de 0 a 10 cm. As maiores concentrações de carbono encontram-se na classe 2 e está distribuída parte na R_3 (DE), a esquerda de R_1 (PE) e, finalmente, na porção mediana de R_5 (PE). A classe 3, segunda em maior estoque de carbono, encontra-se distribuída espacialmente parte na R_1 (PE), parte na porção esquerda da R_2 (DE) e, finalmente, o restante na porção superior de R_5 (PE). A classe 5 foi a que apresentou o menor estoque de CO e encontra-se distribuído em sua totalidade no R_4 -PE. A classe 6 encontra-se distribuída na parte inferior do R_3 (DE) e porção inferior do R_1 (PE).

Na profundidade de 10 a 20 cm, o estoque de carbono orgânico encontra-se predominantemente na classe 3 e sua distribuição ocorre nas áreas

R₁ (PE), R₄ (PE), R₃ (DE) e R₅ (PE). No fragmento de vegetação nativa também foi encontrado (Figura 26).

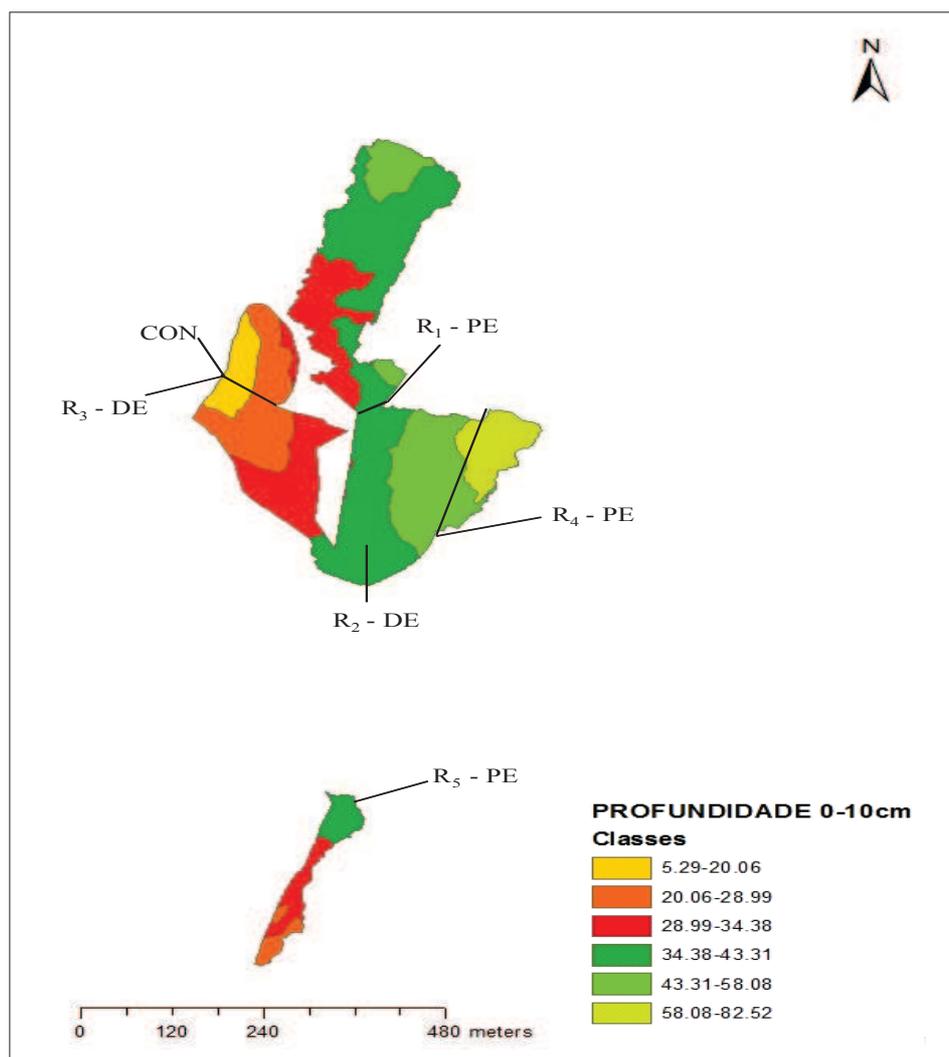


Figura 25 Distribuição espacial do estoque de carbono (ton.ha⁻¹) no solo na profundidade de 0 a 10 cm nas áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e no fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga (MG)

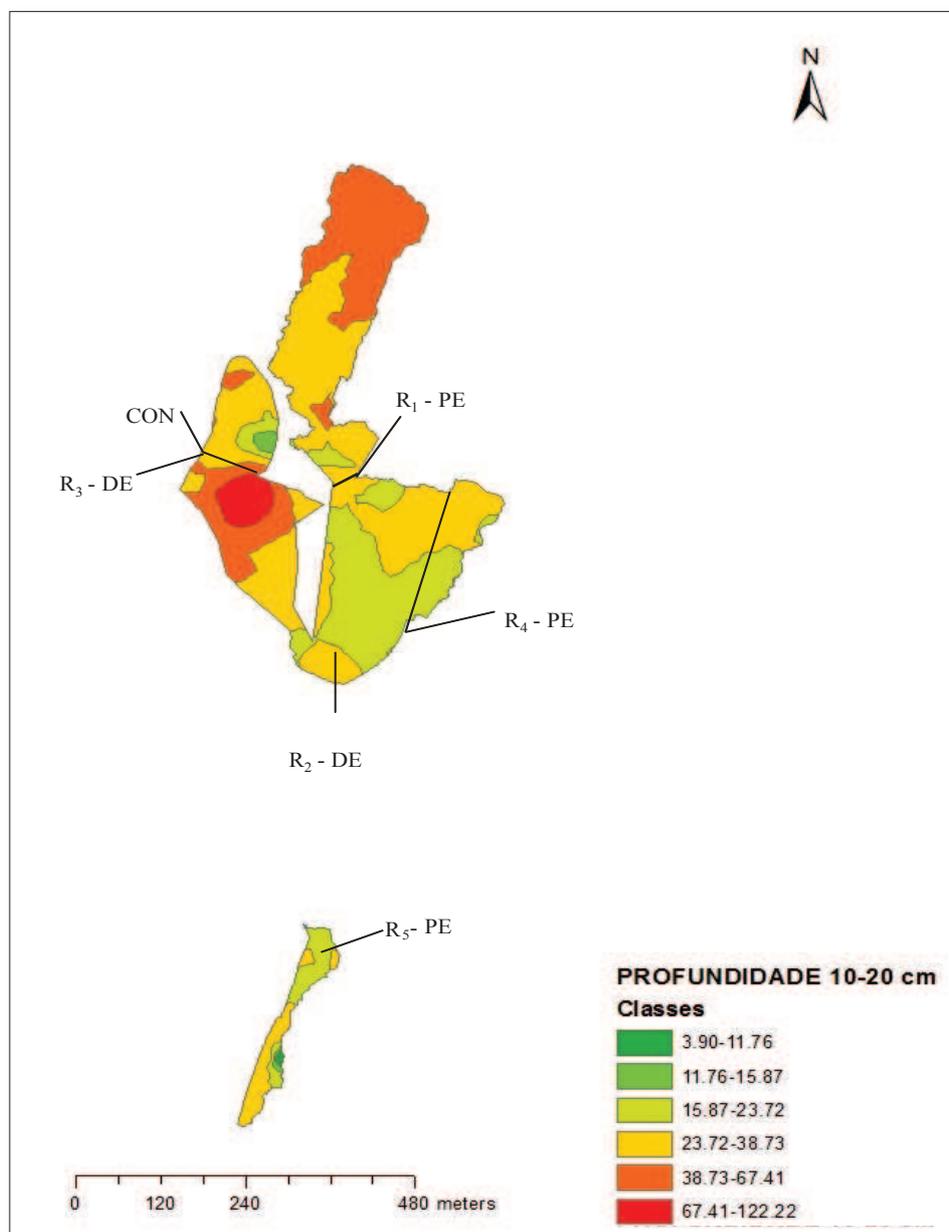


Figura 26 Distribuição espacial do estoque de carbono ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) no solo na profundidade de 10 a 20 cm nas áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e no fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga (MG)

5.10 Estoque de carbono por compartimento

A Tabela 8 apresenta o estoque médio de carbono em cada compartimento avaliado e o total médio ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) por área. Na categoria PE, 47,44 $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ de carbono estão estocadas na parte aérea das árvores, 2,02 na serapilheira e 57,47 no solo, totalizando 106,93 $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$, aos 19 anos de idade. O estoque de carbono nas áreas da categoria DE, embora tenham sofrido distúrbios de maior intensidade, não demonstrou sofrer influência dos mesmos.

Observa-se que o solo foi o maior contribuinte no estoque de carbono total em todas as áreas em estudo (Figura 27). Em relação ao fragmento de vegetação nativa em estudo, verificou-se que o estoque de carbono presente no solo foi maior que nas demais áreas. Esse resultado vai de encontro aos resultados de Corazza et al. (1999) que verificaram que o acúmulo de carbono foi maior nos sistemas sem perturbação do solo e menor nos sistemas perturbados. Segundo os autores, o manejo do solo afeta a dinâmica do carbono e a emissão de gases por meio da sua influência nos processos e propriedades do solo. O maior estoque de carbono no solo do fragmento de vegetação nativa pode estar mais ligado à qualidade do material orgânico existente.

Tabela 8 Estoque médio de carbono e percentual do estoque total em cada matriz e total médio por fragmento em cada matriz

Categoria	Estoque médio de carbono ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$)						Total
	Estrato Arbóreo	(%)	Serapilheira	(%)	Solo	(%)	
DE	33,52	31,65	1,96	1,85	70,42	66,50	105,90
PE	47,44	43,36	2,02	4,70	57,47	52,75	106,93
COM	42,26	31,41	1,58	1,17	90,73	67,43	134,56

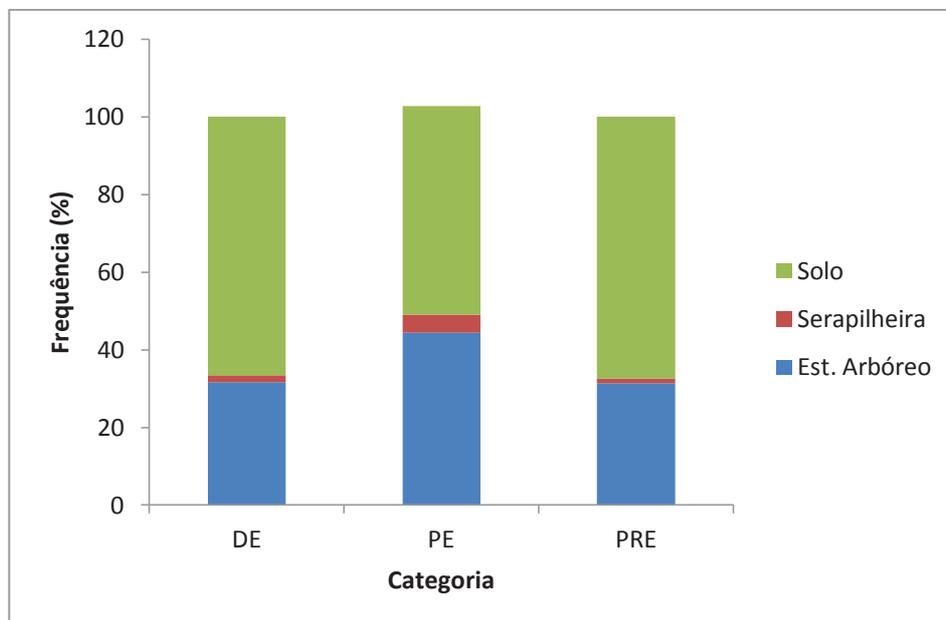


Figura 27 Estoque médio percentual em cada compartimento por categoria nas áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e do fragmento de vegetação nativa no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG

5.11 Padrões de distribuição das características estruturais, do estoque de carbono e de variáveis edáficas

A partir dos dados de abundância de espécies por parcela e dos dados de variáveis edáficas e de estoque de carbono nos diversos compartimentos estudados, procedeu-se à análise de gradientes, com o objetivo de correlacionar a distribuição das abundâncias das espécies com as mencionadas, por meio da análise de correspondência canônica ou CCA - *canonical correspondence analysis* (BRAAK, 1986, 1987). Este método de ordenação utiliza regressões múltiplas e permite a ordenação conjunta de espécies e de fatores edáficos, estruturais e de estoque de carbono em um mesmo gradiente.

Os resultados da CCA encontram-se na Tabela 21 e na Figura 28. Os autovalores (*eigenvalues*) da CCA para os eixos de ordenação foram de 0,705, 0,306 e 0,326. O eixo 1 ilustrou a existência de um gradiente alto, onde houve a substituição de espécies, enquanto o segundo e o terceiro eixo indicaram um gradiente curto. Ou seja, houve variações, principalmente, quanto às abundâncias das espécies (BRAAK, 1995). Reunidos, os três eixos da ordenação explicaram 23,9% da variação global, com uma alta variância não explicada remanescente. Assim, os estoques de carbono no solo e na serapilheira juntamente com as variáveis edáficas explicaram parcialmente as relações florísticas e as alterações nas abundâncias das populações nas comunidades arbóreas.

Os autovalores (*eigenvalues*) da CCA para os dois primeiros eixos de ordenação (Tabela 8) evidenciaram o gradiente florístico e estrutural entre as áreas reflorestadas (Figura 28). O eixo 1 ilustrou a existência de um gradiente moderado, onde houve a substituição de espécies, enquanto o segundo eixo indicou um gradiente curto. Ou seja, houve variações principalmente quanto às abundâncias das espécies (BRAAK, 1995). As porcentagens de variância acumuladas pelos eixos para os dados de espécies foram baixas: 12,1; 18,3 e 23,9 o que significa que a ordenação deixou uma considerável variância remanescente (ruído) sem explicação. Porém, essa situação é caracterizada como frequente em estudos da vegetação (BRAAK, 1995). Assim, as variáveis edáficas e de estoque de carbono nos compartimentos: estrato arbóreo, serapilheira (material lenhoso e não lenhoso) e solo (profundidade de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm) explicaram parcialmente as relações florísticas e as alterações nas abundâncias das populações nas áreas em processo de restauração.

A CCA produziu valores consideravelmente altos para as correlações espécie-ambiente ($r > 0,8$) para os primeiros eixos (Tabela 9), sendo que os testes de permutação de Monte Carlo indicaram que as abundâncias das

espécies, as variáveis edáficas e os estoques de carbono foram significativamente correlacionados. Nota-se que as técnicas utilizadas no processo de restauração florestal dos fragmentos com níveis diferenciados de perturbação estão resultando em respostas diferenciadas no restabelecimento da vegetação. Em relação às variáveis edáficas e ao estoque de carbono, a dispersão gráfica das espécies (Figura 28) demonstrou dissimilaridade em cada categoria de área estudada.

O diagrama mostra a separação das áreas em processo de restauração à esquerda e do fragmento de vegetação nativa à direita. As espécies florestais avaliadas nas áreas em processo de restauração e no fragmento de vegetação nativa revelaram capacidade diferenciada em estocar carbono nos compartimentos considerados em função dos níveis diferenciados de perturbação. Nota-se que o estoque de carbono no solo a uma profundidade de 0 a 10 cm mostrou-se correlação com as parcelas do fragmento de vegetação nativa.

As variáveis K e Al foram as variáveis mais estreitamente associadas ($K = 0,849$ e $Al = 0,773$) ao primeiro componente principal. As demais variáveis P e estoque de carbono no solo (0 a 10 cm) também foram correlacionados positivamente com o primeiro eixo da ordenação, mas não tão forte (Estoque de Carbono 0 a 10 cm = $0,768$ e $P = 0,729$). Constata-se na literatura que em locais onde há ausência ou menor revolvimento do solo a tendência em armazenar CO é maior, o que justifica o resultado encontrado.

As demais variáveis foram de pequeno significado ($<0,70$) na distinção das espécies. De forma antagônica ao primeiro eixo, pH ($-0,651$) e estoque de carbono na serapilheira (material não lenhoso) ($-0,612$) apresentaram correlações fortes e positivas e foram as variáveis que mais contribuíram na dissimilaridade entre as espécies. Essas variáveis mostraram uma correlação com parte das parcelas das áreas em processo de restauração das categorias DE e

PE. Observa-se *in loco* que nessas parcelas há um número considerável de espécies pioneiras em fase final de seu ciclo e, portanto, com maior acúmulo de material senescente representando bem o fenômeno demonstrado pela ordenação. Esses resultados mostram o potencial de uso de componentes principais como método de análise para separar áreas florestais com níveis diferenciados de degradação para um futuro manejo (CUNHA et al., 2009), com base na avaliação de características edáficas e de estoque de carbono nos diferentes compartimentos de um ecossistema. A força das demais variáveis não foi traduzida por qualquer padrão comportamental nos eixos.

Tabela 9 Síntese das variáveis relacionadas ao estoque de carbono, da análise de correspondência canônica (CCA) e correlações internas (“intraset”) nos três eixos de ordenação para as espécies arbóreas das áreas de reflorestamento ambiental com diferentes níveis de perturbação no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG

RESUMO CCA	Análise de Correspondência Canônica (CCA)		
	Eixos		
	1	2	3
Autovalores	0,705	0,306	0,326
Variância dos dados das espécies (%)	12,1	6,2	5,6
Variância explicada cumulativa (%)	12,1	18,3	23,9
Correlações espécie-ambiente			
Pearson	0,988	0,945	0,910
Kendal	0,759	0,768	0,759
Significância das correlações pelo teste Monte Carlo			
Para os autovalores	0,705	0,362	0,362
Para as correlações espécie-ambiente	0,867	0,904	0,900
	Correlações internas (“intraset”)		
	Eixos		
	1	2	3
Estoque de carbono no solo (0 a 10 cm)	0,778	-0,218	-0,162
Estoque de carbono no solo (10 a 20 cm)	0,170	-0,071	-0,149
Estoque de carbono na serapilheira (material lenhoso)	-0,019	-0,139	0,383

“Tabela 9, continuação”

RESUMO CCA	Análise de Correspondência Canônica (CCA)		
	Correlações internas (“intra-set”)		
	Eixos		
	1	2	3
Estoque de carbono na serapilheira (material não lenhoso)	-0,620	-0,009	-0,148
pH	-0,659	-0,121	0,228
P	0,738	0,030	0,097
K	0,859	0,002	0,057
Ca	-0,205	0,409	0,460
MG	-0,237	0,272	0,494
Al	0,782	-0,256	-0,145
SB	-0,098	0,482	0,482
T	0,542	0,284	0,383
M.O.	0,518	-0,116	0,030
P-rem.	-0,212	0,091	0,205
Argila	0,155	0,150	0,130
Areia	0,101	-0,148	0,131

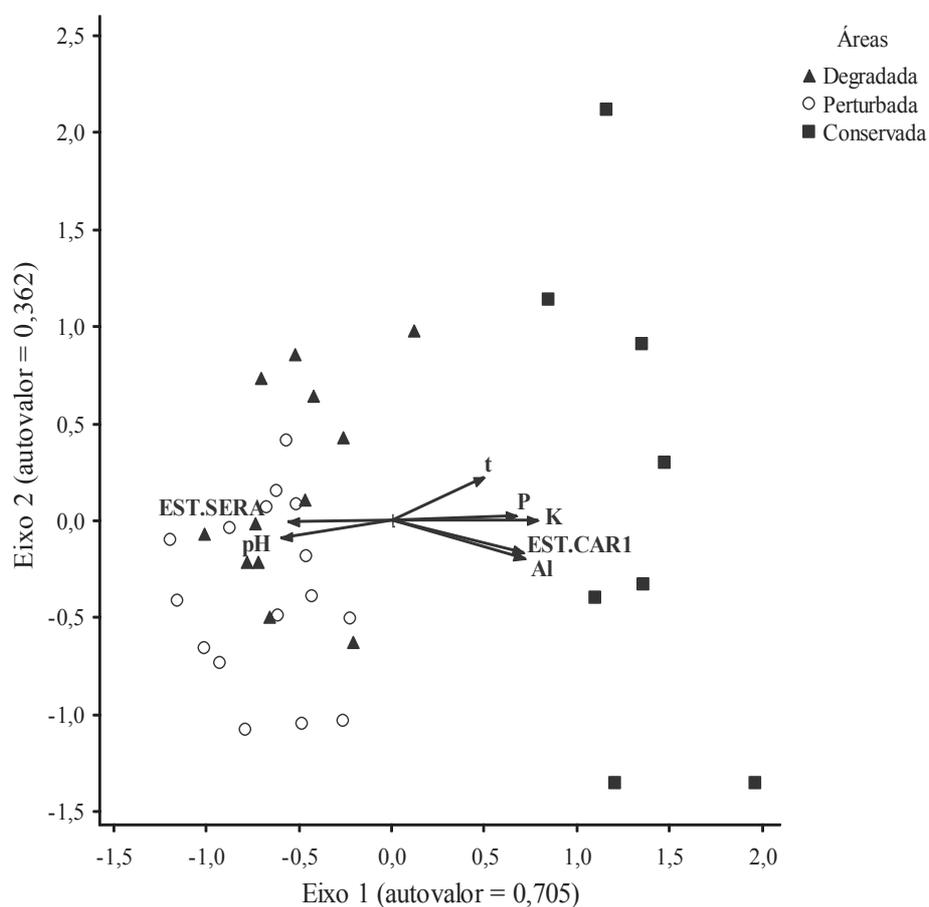


Figura 28 Diagrama de ordenação das parcelas e variáveis ambientais edáficas nos dois primeiros eixos de ordenação produzidos pela análise de correspondência canônica (CCA) dos valores de abundância das espécies distribuídas nas áreas em processo de restauração com níveis diferenciados de perturbação e do fragmento de Floresta Estacional Semidecidual (FRN) no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG

Nota: Variáveis edáficas: fósforo (P); potássio (K); Capacidade de troca catiônica efetiva (t); pH. Estoque de carbono na profundidade de 0 a 10 cm (Est. Car1) e estoque de carbono na serapilheira – material não lenhoso (Est.sera).

Na Tabela 10, encontram-se os resultados das análises de correlação de Pearson que evidenciam a correlação significativa entre a riqueza de espécies e área basal ($r = 0,472$, $p < 0,005$), diversidade de espécies (H') e estoque de carbono (0 a 10 cm) ($r = 0,393$, $p < 0,005$), estoque de carbono (0 a 10 cm) e estoque de carbono na serapilheira (M_L) ($r = -0,466$, $p < 0,008$) e estoque de carbono (0 a 10 cm) e estoque de carbono na serapilheira (M_{NL}) ($r = -0,466$, $p < 0,005$).

Tabela 10 Coeficientes de correlação de Pearson e sua significância (*p*) entre a abundância empregadas na CCA e as variáveis Riqueza, Área Basal, Diversidade, Estoque de carbono (0 a 10 cm), Estoque de carbono (10 a 20 cm), Estoque de carbono na serapilheira (material lenhoso) e Estoque de carbono na serapilheira (material não lenhoso) das áreas de reflorestamento ambiental com diferentes níveis de perturbação no entorno dos reservatórios de Camargos e Itutinga, MG

	Riqueza (Ni)		Área Basal (m ² .ha ⁻¹)		Diversidade de Shanon (H')		Estoque carbono no solo (0 a 10 cm)		Estoque carbono no solo (10 a 20 cm)		Est. carbono na serapilheira (material lenhoso)		Est. carbono na serapilheira (material não lenhoso)	
	r	p	R	P	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P
Riqueza (Ni)	--	--	0,472	0,004*	0,328	0,051 ns	0,268	0,114 ns	-0,036	0,114 ns	-0,232	0,173 ns	-0,232	0,173 ns
Área Basal (m ² .ha ⁻¹)	0,472	0,004 *	--	--	0,226	0,184 ns	-0,047	0,794 ns	-0,154	0,368 ns	0,132	0,441 ns	0,133	0,441 ns
Diversidade de Shanon (H')	0,328	0,005 ns	0,329	0,184 ns	--	--	0,393	0,018 *	-0,226	0,879 ns	-0,278	0,100 ns	-0,278	0,100 ns
Estoque carbono no solo (0 a 10 cm)	0,268	0,114 ns	-0,045	0,794 ns	0,393	0,018 *	--	--	0,317	0,059 ns	-0,466	0,008 *	-0,466	0,004 *
Estoque carbono no solo (10 a 20 cm)	-0,036	0,835 ns	-0,154	0,368 ns	-0,026	0,879 ns	0,060	0,060 ns	--	--	-0,121	0,481 ns	-0,121	0,481 ns
Est. carbono na serapilheira (material lenhoso - ton.ha ⁻¹)	0,159	0,354 ns	0,169	0,325 ns	0,199	0,244 ns	-0,177	0,300 ns	-0,775	0,361 ns	--	--	-0,068	0,691 ns

“Tabela 10, conclusão”

Riqueza (Ni)	Área Basal (m ² .ha ⁻¹)	Diversidade de Shanon (H')		Estoque carbono no solo (0 a 10 cm)		Estoque carbono no solo (10 a 20 cm)		Est. carbono na serapilheira (material não lenhoso)		Est. carbono na serapilheira (material não lenhoso)										
		r	p	r	p	r	p	r	p	r	p									
Est. carbono na serapilheira (material não lenhoso – ton.ha ⁻¹)	-0,232	0,173	ns	0,133	0,441	ns	-0,278	0,100	ns	-0,466	0,004	*	0,686	0,48	ns	-0,069	0,691	ns	--	--

* Correlações significativas a 5% de probabilidade de erro.

6 CONCLUSÕES

As variáveis avaliadas permitiram concluir que:

- Após 19 anos, as áreas em processo de restauração apresentam-se semelhantes ao fragmento de vegetação nativa existente no local. Entretanto, estas apresentam características como composição florística, estrutura e diversidade de espécies florestais diferenciadas de áreas de florestas nativas maduras da região.

- As áreas em processo de restauração, correspondentes aos níveis diferenciados de perturbação, apresentaram heterogeneidade edáfica e de composição e estrutura da comunidade arbórea. Os solos de todas as categorias estudadas foram caracterizados por apresentarem baixa disponibilidade de nutrientes e acidez variando de média (DE) a elevada (PE e CON) e teores variáveis de matéria orgânica, que é mais armazenada na área de mata. A fertilidade e outras características edáficas explicam parcialmente as relações florísticas e as alterações nas abundâncias das populações nas comunidades arbóreas.

- O estoque de carbono no estrato arbóreo foi inferior ao de fragmentos de florestas maduras e confirmou-se que o solo é o maior reservatório de carbono das áreas em processo de restauração nas condições do trabalho.

- A análise espacial possibilitou a identificação de heterogeneidade do estoque de carbono no estrato arbóreo, na serapilheira e no solo, permitindo a definição de zonas específicas onde é possível realizar interferências necessárias visando à melhoria do processo de restauração florestal. A análise dos

semivariogramas mostrou que o estoque de carbono nas áreas em processo de restauração e no fragmento de vegetação nativa apresentara dependência espacial, sendo baixa para o estrato arbóreo e solo (10 a 20 cm) e moderada para serapilheira (M_L e M_{NL}) e solo (0 a 10 cm). A modelagem aplicada permitiu estimar o estoque de carbono dos compartimentos, bem como o alcance e a constância da dependência espacial. Os dados se ajustaram ao semivariograma nos modelos Exponencial e Gaussiano.

REFERÊNCIAS

ADUAN, R. E.; VILELA, M. de F.; KLINK, C. A. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: o caso do cerrado brasileiro**. Panaltina: EMBRAPA Cerrados, 2003. 30 p.

ALMEIDA, S. S.; AMARAL, D. D.; SILVA, A. S. L. Análise florística e estrutura de florestas de várzea no estuário amazônico. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 34, n. 4, p. 513-524, 2004.

ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. de. Recuperação do subsolo em área de empréstimo usada para construção de hidrelétrica. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 301-309, abr./jun. 2011.

ANDRADE, H. D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S. H. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de áreas degradadas em Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, p. 715-721, 1999.

ANTUNES, F. Z. Caracterização climática do Estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 138, p. 9-13, jun. 1986.

APPOLINÁRIO, V.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; GUILHERME, F. A. G. Tree population and community dynamics in a Brazilian tropical semideciduous forest. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 347-360, 2005.

BARBOSA, L. M. Recuperação florestal de áreas degradadas no estado de São Paulo: histórico, situação atual e projeções. In: _____. **Manual para recuperação de áreas degradadas do Estado de São Paulo: matas ciliares do interior paulista**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2006. p. 125-148.

BARNETT, J. R.; JERONIMIDS, G. **Wood quality and its biological basis**. Oxford: CRC, 2003. 223 p.

BERG, E. van den; OLIVEIRA FILHO, A. T. Composição florística e fitossociológica de uma floresta estacional semidecidual Montana, município de Itutinga, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 23, n. 3, p. 231-253, set. 2000.

_____. Spatial partitioning among tree species within an area of tropical montane gallery forest in South-eastern Brazil. **Flora**, London, v. 194, n. 7, p. 249-266, Mar. 1999.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v. 1, p. 363-375.

BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C. Métodos silviculturais para recuperação de nascentes e recomposição de matas ciliares. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 5., 2002, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG, 2002. p. 123-145.

BOTELHO, S. A. et al. **Implantação de mata ciliar**. Belo Horizonte: CEMIG/UFLA/FAEPE, 1995. 36 p.

BOTREL, R. T. **Fragmentação florestal no município de Ingaí, MG: composição florística, estrutura da comunidade arbórea e etnobotânica**. 2001. 149 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

BOTREL, R. T. et al. Influência do solo e topografia sobre as variações da composição florística e estrutura da comunidade arbórea-arbustiva de uma floresta estacional semidecidual em Ingaí, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 195-213, jun. 2002.

BRAAK, C. J. F. ter. Analysis of vegetation-environment relationships by canonical correspondence analysis. **Vegetatio**, The Hague, v. 69, n. 1, p. 60-77, 1987.

_____. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct analysis. **Ecology**, Durham, v. 67, p. 1167-1179, 1986.

_____. Ordination. In: JONGMAN, R. H. G.; BRAAK, C. J. F. ter; TONGEREN, O. F. R. van (Ed.). **Data analysis in community and landscape ecology**. Cambridge: Cambridge University, 1995. p. 91-173.

BRAGA, F. M. S.; REZENDE, A. V. Dinâmica da vegetação arbórea da mata de galeria do Catetinho, Brasília, DF. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 138-148, abr./jun. 2007.

BROWER, J. E.; ZAR, J. H. **Field and laboratory methods for general ecology**. Dubuque: W. C. Brown, 1984. 254 p.

BROWN, I. F. et al. Uncertainty in the biomass of Amazonian forests: an example from Rondônia, Brasil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 75, n. 8, p. 175-189, Apr. 1995.

BROWN, S.; GILLESPIE, A. J.; LUGO, A. E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to Forest inventory data. **Forest Science**, Bethesda, v. 35, n. 4, p. 881-902, 1989.

BROWN, S.; LUGO, A. E. Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining developing. **Restoration Ecology**, Malden, v. 2, n. 8, p. 97-111, Nov. 1994.

BRUN, E. J. et al. Relação entre a produção de serapilheira e variáveis meteorológicas em três fases sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 277-285, 2003.

BRUS, D. **Incorporating models of spatial variation in sampling strategies for soil**. 1993. 211 p. Thesis (Ph.D. in Agricultural) - Agricultural University, Wageningen, 1993.

BUFO, L. V. B. **Restauração florestal e estoque de carbono em modelos de implantação de mudas sob diferentes combinações de espécies e espaçamento**. 2008. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2008.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 58, n. 9, p. 1501-1511, Apr. 1994.

CARPANEZZI, A. A. Fundamentos para a reabilitação de ecossistemas florestais. In: GALVÃO, A. P. M.; SILVA, V. P. (Ed.). **Restauração florestal: fundamentos e estudos de caso**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2005. p. 27-45.

CARVALHO, D. A. de et al. Estrutura fitossociológica de mata ripária do alto Rio Grande, Bom Sucesso, Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 39-49, jan. 1995.

_____. **Estudos florísticos e fitossociológicos em remanescentes de florestas ripárias do Alto São Francisco e Bacia do Rio Doce, MG.** Lavras: UFLA, 1999. 39 p.

_____. Florística e estrutura da vegetação arbórea de um fragmento de Floresta Semidecidual às margens do reservatório da Usina Hidrelétrica Dona Rita, Itambé do Mato Dentro, MG. **Acta Botânica Brasilica**, São Paulo, v. 14, n. 1, p. 37-55, 2000.

CARVALHO, W. A. C. **Variações da composição e estrutura do compartimento arbóreo da vegetação de oito fragmentos de floresta semidecídua do vale do Alto Rio Grande, MG.** 2002. 192 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

CHEN, C. Subtropical plantations are large carbon sinks: evidence from two monoculture plantations in South China. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 151, n. 9, p. 1214-1225, Sept. 2011.

CLEWELL, A.; RIEGER, J. P. What practitioners need from restoration ecologists. **Restoration Ecology**, Malden, v. 4, n. 7, p. 350-354, Oct. 1997.

CORAZZA, E. J. et al. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n. 5, p. 425-432, mar. 1999.

COSTA, O. V. et al. Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de tabuleiro costeiro no sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 33, n. 6, p. 1137-1145, maio 2009.

CROW, T. R.; SCHLAEGEL, B. E. A guide to using regression equations for estimating tree biomass. **Northern Journal of Applied Forestry**, Washington, v. 5, n. 1, p. 128-135, Mar. 1988.

CUNHA, G. de M. et al. Biomassa e estoque de carbono e nutrientes em florestas montanas da mata atlântica na região norte do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 33, n. 9, p. 1175-1185, mar. 2009.

CUNHA, L. O. et al. Análise multivariada da vegetação como ferramenta para avaliar a reabilitação de dunas litorâneas mineradas em Mataraca, Paraíba, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 503-515, jul./ago. 2003.

DALANESI, P. E.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FONTES, M. A. Flora e estrutura do componente arbóreo da floresta do Parque Ecológico Quedas do Rio Bonito, Lavras, MG, e correlações entre a distribuição das espécies e variáveis ambientais. **Acta Botânica Brasílica**, Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 737-757, 2004.

DAVIDE, A. C.; SCOLFORO, J. R. S.; FARIA, J. M. R. Adaptação de 12 espécies florestais em área de empréstimo. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS/SBEF, 1993a. p. 754.

_____. Opção de revegetação de áreas de encosta. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS/SBEF, 1993b. p. 765.

DIAS, E. D.; ALVAREZ, V.; BRIENZA JÚNIOR, S. Formação de mudas de *Acacia mangium*: resposta a nitrogênio e potássio. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 15, n. 1, p. 11-22, jan./fev. 1991.

DIAZ-BALTEIRO, L.; RODRIGUEZ, L. C. E. Optimal rotation on *Eucalyptus* plantation including carbon sequestration: a comparison of results in Brazil and Spain. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 229, n. 1/3, p. 247-258, 2006.

DUARTE, R. M. R.; CASAGRANDE, J. C. Interação solo-vegetação na recuperação de áreas degradadas. In: BARBOSA, L. M. (Coord.). **Manual para recuperação de áreas degradadas do Estado de São Paulo**: matas ciliares do interior paulista. São Paulo: Instituto de Botânica, 2006. p. 201-212.

DURIGAN, G. **O uso de indicadores para monitoramento de áreas em recuperação**. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2011. 63 p. (Cadernos da Mata Ciliar, 4).

DYGBY, P. G. N.; KEMPTON, R. A. **Multivariate analysis of ecology communities**: population in community biology series. London: Chapman & Hall, 1996. 198 p.

ENGEL, V. L.; PARROTA, J. A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: KAGEYAMA, P. Y. et al. (Org.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003. p. 3-26.

ESPÍRITO-SANTO, F. D. B. et al. Variáveis ambientais e a distribuição de espécies arbóreas em um remanescente de floresta estacional semidecídua montana no campus da Universidade Federal de Lavras, MG. **Acta Botânica Brasílica**, Brasília, v. 28, n. 9, p. 59-98, ago. 2002.

FEARNSIDE, P. M. Biomassa das florestas amazônicas brasileiras. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO₂: UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1., 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD/FBDS, 1994. p. 95-124.

_____. The potential of Brazil's Forest sector for mitigating global warming under the Kyoto Protocol. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, New York, v. 33, n. 3, p. 355-372, Mar. 2001.

FEARNSIDE, P. M. et al. Burning of Amazonian rainforests: burning efficiency and charcoal formation in Forest cleared for cattle pasture near Manaus, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 146, p. 115-128, 2001.

FEARNSIDE, P. M.; GUIMARÃES, J. J. Amazonian deforestation and global warning: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 80, n. 24, p. 21-34, Oct. 1996.

FELFILI, J. M. **Análise multivariada em estudos de vegetação**. Brasília: UnB, 2007. 60 p.

FERREIRA, W. C. **Estoque de biomassa e carbono e parâmetros indicadores de recuperação de mata ciliar**. 2009. 163 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

FERREIRA, W. C. et al. Avaliação do crescimento do estrato arbóreo de área degradada revegetada à margem do Rio Grande, na Usina Hidrelétrica de Camargos, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 1, p. 177-185, jan./fev. 2007.

_____. Estabelecimento de mata ciliar às margens do reservatório da Usina Hidrelétrica de Camargos, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 1, p. 69-81, jan./mar. 2009.

FERREIRA JÚNIOR, W. G.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SILVA, A. F. da. Uma visão pedogeomorfológica sobre as formações florestais da mata atlântica. In: MARTINS, S. V. (Ed.). **Ecologia de florestas tropicais do Brasil**. Viçosa, MG: UFV, 2009. p. 198-214.

FERRETTI, A. R. Fundamentos ecológicos para o planejamento da restauração florestal. In: GALVÃO, A. P. M.; SILVA, V. P. (Ed.). **Restauração florestal: fundamentos e estudos de caso**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2005. p. 59-86.

GAMA-RODRIGUES, A. C. da; GAMA-RODRIGUES, E. F. da; BARROS, N. F. Balanço de carbono e nutrientes em plantio puro e misto de espécies florestais nativas no Sudoeste da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 24, p. 1165-1179, abr. 2008.

GANDOLFI, S. **Estudo florístico e fitossociológico de uma floresta residual na área do Aeroporto Internacional de São Paulo, município de Guarulhos, SP**. 1991. 232 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1991.

GAVILANES, M. L. et al. Flora arbustivo-arbórea de uma mata ciliar do alto rio Grande em Madre de Deus de Minas, MG. **Daphne**, Belo Horizonte, v. 2, n. 33, p. 15-24, out. 1992.

GOLLEY, F. B. et al. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de Floresta Tropical Úmida**. São Paulo: EPU, 1978. 256 p.

GONÇALVES, J. L. de M.; NOGUEIRA JÚNIOR, L. R.; DUCATTI, F. Recuperação de solos degradados. In: KAGEYAMA, P. Y. et al. (Ed.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Piracicaba: IPEF, 2008. p. 165-184.

GONZÁLEZ-CABÁN, A.; FENN, M. E.; SCATENA, F. N. Concepts, criteria, and indicators for monitoring sustainability. In: MEXICO/US BIENNIAL SYMPOSIUM, 5., 1995, Washington. **Proceedings...** Washington: USDA, 1995. p. 13-23.

GRIFFITH, J. J.; DIAS, L. E.; JUCKSCH, I. Novas estratégias ecológicas para a revegetação de áreas mineradas espécies arbórea nativas em reservatórios de usinas hidrelétricas da Cesp. **IPEF Série Técnica**, Piracicaba, v. 8, n. 25, p. 1-43, set. 1994.

GUNN, C. R. Fruits and seeds of genera in the subfamily Mimosoideae (Fabaceae). **Technical Bulletin**, Washington, n. 1681, p. 1-194, 1984.

HAGIWARA, Y. et al. Colonization and decomposition of leaf litter by ligninolytic fungi in *Acacia mangium* plantations and adjacent secondary forests. **Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 17, n. 1, p. 51-57, Jan. 2012.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JÚNIOR, J. A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO₂: UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1., 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD/FBDS, 1994. p. 125-153.

HIGUCHI, N. et al. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 28, n. 1, p. 153-166, 1998.

HIGUCHI, P. et al. Dinâmica da comunidade arbórea em um fragmento de floresta Estacional Semidecidual Montana em Lavras, Minas Gerais, em diferentes classes de solos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, n. 28, p. 417-426, mar. 2008.

HOBBS, R. J.; NORTON, D. A. Towards a conceptual framework for restoration ecology. **Restoration Ecology**, Malden, v. 2, n. 1, p. 93-110, Apr. 1996.

HOUGHTON, R. A. Changes in the storage of terrestrial carbon since 1850. In: LAL, R. et al. (Ed.). **Soils and global change**. Boca Raton: CRC Lewis, 1995. p. 45-65.

_____. Florestas e o ciclo do carbono global: armazenamento e emissões atuais. In: EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO₂: UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1., 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p. 38-76.

HUANG, L. et al. Carbon sequestration by forestation across China: past, present, and future. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, New York, v. 16, n. 8, p. 1291-1299, Apr. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS RENOVÁVEIS. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília, 1990. 96 p.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University, 1989. 560 p.

JACOMINE, P. K. T. Solos sob matas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: FAPESP, 2000. p. 27-31.

JACOVINE, L. A. G. et al. A seringueira no contexto das negociações sobre mudanças climáticas globais. In: ALVARENGA, A. P.; CARMO, C. A. F. S. (Ed.). **Sequestro de carbono: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural**. Viçosa, MG: EPAMIG, 2006. p. 1-41.

JESUS, R. M.; ROLIM, S. G. **Fitossociologia da floresta atlântica de tabuleiro em Linhares, ES**. Brasília: SIF, 2005. 149 p. (Boletim Técnico, 19).

KAGEYAMA, P. Y. **Estudo para implantação de matas ciliares de proteção na Bacia Hidrográfica do Passa Cindo visando à utilização para abastecimento público**. Piracicaba: USP-ESALQ-DAEE, 1986. 236 p.

KAGEYAMA, P. Y.; GANDARA, F. B.; OLIVEIRA, R. E. de. Biodiversidade e restauração da floresta tropical. In: KAGEYAMA, P. Y. et al. (Org.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003. p. 27-48.

KAPOS, V.; CAMARGOS, J. L. C.; DANDE, G. Edge related changes in environment and plant response due to forest fragmentation in Central Amazonia. In: LAURANCE, W. F.; BIERREGAARD, R. O. (Ed.). **Tropical forest remnants: ecology, management and conservation of fragmented communities**. Chicago: The University of Chicago, 1997. p. 45-54.

KIRMAN, S. D.; STRASBERG, J. J. Biomass and litterfall in a native lowland rainforest: mareloungue reserve, la reunion island, Indian Ocean. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 252, n. 1/3, p. 257-266, Nov. 2007.

LACLAU, P. Root biomass and carbon storage of ponderosa pine in a northwest Patagonia plantation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 173, n. 1/3, p. 353-360, 2003.

LAL, R.; KIMBLE, J.; STEWART, B. A. World soils as a source or sink for radiatively-active gases. In: LAL, R. et al. (Ed.). **Soil management and greenhouse effect**. Boca Raton: CRC Lewis, 1995. p. 1-7.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004. 531 p.

LAURENCE, W. F. et al. Relationship between soils and Amazon Forest biomass: a landscape-scale study. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 118, n. 19, p. 127-138, Mar. 1999.

MACHADO, J. W. B. **Relação origem/solo e tolerância à saturação hídrica de *Copaifera langsdorffii* Desf.** 1990. 159 f. Tese (Doutorado em Biologia) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1990.

MAFRA, A. L. et al. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 217-224, mar./abr. 2008.

MARANGON, L.; 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, mar./abr. 2003.

MARTINS, C. C. et al. Efeito do sombreamento e do substrato sobre a germinação e o crescimento de plântulas de *Acacia mangium* e *Acacia mearnsii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 283-293, mar./abr. 2012.

MELO, A. C. G. de; DURIGAN, G. Evolução estrutural de reflorestamentos de restauração de matas ciliares no Médio Vale do Paranapanema. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 73, p. 101-111, mar. 2007.

_____. Fixação de carbono em reflorestamento de matas ciliares no Vale do Paranapanema, SP, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 71, p. 149-154, ago. 2006.

MELLO, J. M. de et al. Estudo da dependência espacial de características dendrométricas para *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 113-126, abr./jun. 2005.

MENDONÇA, R. C. et al. Flora vascular do Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Plantaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. p. 289-556.

MIRANDA, D. L. C. de. **Modelos matemáticos de estoque de biomassa e carbono em áreas de restauração florestal no sudoeste paulista**. 2008. 113 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

MORAIS, V. A. **Modelagem e espacialização do estoque de carbono de cerrado *sensu stricto* em Minas Gerais**. 2012. 107 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

MOREIRA, P. R. **Manejo do solo e recomposição da vegetação com vistas a recuperação de áreas degradadas pela extração de bauxita, Poços de Caldas, MG.** 2004. 139 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

MÜELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERGH, H. **Aims and methods in vegetation ecology.** New York: J. Wiley, 1974. 547 p.

MÜLLER, M. D. et al. Estimativa de acúmulo de biomassa e carbono em sistema agrossilvipastoril na Zona da Mata Mineira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 60, p. 11-17, dez. 2009.

MULLER-LANDAU, H. C. Inter-specific and inter-site variation in wood specific gravity of tropical trees. **Biotropica**, Washington, v. 36, n. 1, p. 20-32, 2004.

MURCIA, C. Edges effects in fragmented forest: implications for conservation. **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdam, v. 10, n. 2, p. 58-62, 1995.

NAPPO, M. E.; OLIVEIRA FILHO, A. T. O.; MARTINS, S. V. A estrutura do sub-bosque de povoamentos homogêneos de *Mimosa scabrella* Benth, em área minerada, em Poços de Caldas, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 17-29, 2000.

NOVAES FILHO, J. P. et al. Distribuição espacial de carbono em solo sob floresta primária na amazônia meridional. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 1, p. 83-92, jan./fev. 2007.

OLIVEIRA, R. E. de; ENGEL, V. L. A restauração ecológica em destaque: um retrato dos últimos vinte e oito anos de publicação na área. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 303-315, Feb. 2011.

OLIVEIRA, R. R.; LACERDA, L. D. Produção e composição química da serrapilheira na floresta da Tijuca, RJ. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 93-99, 1993.

OLIVEIRA FILHO, A. T. Estudos ecológicos da vegetação como subsídios para programas de revegetação com espécies nativas: uma proposta metodológica. **Cerne**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 64-72, 1994.

OLIVEIRA FILHO, A. T. et al. Differentiation of streamside and upland vegetation in area of montane semideciduous forest in south-eastern Brazil. **Flora**, London, v. 189, n. 8, p. 287-305, Mar. 1994a.

_____. Effects of soils and topography on the distribution of tree species in a tropical riverine forest in south-eastern Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 10, n. 36, p. 483-508, Apr. 1994b.

_____. Estrutura fitossociológica e variáveis ambientais em um trecho de mata ciliar do córrego Vilas Boas, Reserva Biológica do Poço Bonito, Lavras, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 67-85, jan./mar. 1994c.

_____. **Estudos florísticos e fitossociológicos em remanescentes de matas ciliares do alto e médio rio grande**. Belo Horizonte: CEMIG, 1995. 27 p.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; FONTES, M. A. L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic forests in southeastern Brazil, and the influence of climate. **Biotropica**, Washington, v. 12, n. 4b, p. 793-810, 2000.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; MELLO, J. M.; SCOLFORO, J. R. S. Effects of past disturbance and edges on tree community structure and dynamics within a fragment of tropical semideciduous forest in south-eastern Brazil over a five year period 1987-1992. **Plant Ecology**, Oxford, v. 131, n. 1, p. 45-66, Jan. 1997.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; RATTER, J. A. Padrões florísticos das matas ciliares da região dos cerrados e a evolução das paisagens do Brasil Central durante o Quaternário tardio. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP, 2000. p. 73-89.

PAIVA, A. O.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S. Estoque de carbon em cerrado *Sensu stricto* do Distrito Federal. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 35, n. 3, p. 527-538, maio/jun. 2011.

PANNATIER, Y. **Variowin**: software for spatial data analysis in 2D. New York: Springer-Verlag, 1996. 90 p.

PIELOU, E. C. **Ecological diversity**. New York: J. Wiley, 1975. 165 p.

PINTO, L. V. A. et al. Estudo da vegetação como subsídios para propostas de recuperação das nascentes da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 775-793, set./out. 2005.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2007. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>. Acesso em: 10 out. 2012.

RATTER, J. A. et al. Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation II: comparison of the woody vegetation of 98 areas. **Edinburgh Journal of Botany**, Edinburg, v. 53, n. 2, p. 153-180, July 1996.

REGAZZI, A. J.; LEITE, H. G. **Análise de regressão: teoria e aplicação em manejo florestal**. Viçosa, MG: UFV/DEF/SIF, 1993. 232 p. Apostila.

REIS, A.; KAGEYAMA, P. Y. Restauração de áreas degradadas utilizando interações interespecíficas. In: KAGEYAMA, P. Y. et al. (Org.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003. p. 91-110.

REIS-DUARTE, R. M. et al. Fisionomias da floresta de restinga do parque Estadual da Ilha Anchieta (SP), Brasil, Influenciadas por Fatores Edáficos. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE BOTÂNICA, 8.; CONGRESSO COLOMBIANO DE BOTÂNICA, 2., 2002, Cartagena de Índias. **Resúmenes...** Cartagena de Índias: CLB, 2002a. p. 446.

_____. Fisionomias da floresta de restinga do Parque Estadual da Ilha Anchieta (SP) influenciadas pela fertilidade do solo. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 9., 2002, Recife. **Resumos...** Recife: UFPE, 2002b. p. 405.

REZENDE, A. V. **Diversidade, estrutura, dinâmica e prognose do crescimento de um cerrado *sensu stricto* submetido a diferentes distúrbios por desmatamento**. 2002. 243 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

REZENDE, A. V.; FELFILI, J. M. Avaliação do estoque de carbono do cerrado *sensu stricto* do Brasil Central. **Comunicações Técnicas Florestais**, Brasília, v. 6, n. 2, p. 1-27, 2004.

RIBEIRO, S. C. et al. Above-and belowground biomass in Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 262, n. 12, p. 491-499, Oct. 2011.

_____. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma capoeira da zonada da mata mineira. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 3, p. 495-504, maio/jun. 2010.

_____. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma floresta madura no município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 5, p. 917-926, set./out. 2009.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. GeoR: a package for geostatistical analysis. **R-News**, Pelotas, v. 1, n. 2, p. 15-18, 2001.

ROCHA, M. T. Mudanças climáticas e mercado de carbono. In: SANQUETA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B. (Ed.). **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba: UFPR/Ecoplan, 2004. p. 39-53.

RODRIGUES, L. A. et al. Florística e estrutura da comunidade arbórea de um fragmento florestal em luminárias, MG. **Acta Botânica Brasileira**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 71-87, 2003.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para recuperação de Florestas Ciliares. In: _____. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP, 2000. p. 235-247.

RODRIGUEZ, L. C. E. Monitoramento florestal: iniciativas, definições e recomendações. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 12, n. 31, p. 9-22, abr. 1998.

ROSSI, C. Q.; POLIDORO, J. C. **Ciclos dos nutrientes e sua relação com a nutrição de plantas**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2008. 228 p.

RUIZ-JAEN, M. C.; AIDE, M. Restoration success: how is it being measured? **Restoration Ecology**, Malden, v. 13, n. 18, p. 569-577, Apr. 2005.

SAHARJOA, B. H.; WATANABE, H. Estimation of litter fall and seed production of *Acacia mangium* in a forest plantation in South Sumatra, Indonesia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 130, n. 21, p. 265-268, Apr. 2000.

SANDS, P.; RAWLINS, W.; BATTAGLIA, M. Use of a simple plantation productivity model to study the profitability of irrigated *Eucalyptus globulus*. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 117, n. 13, p. 125-141, Aug. 1999.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLIOTTO, M. A. **Fixação de carbono**: atualidades, projetos e pesquisas. Curitiba: UFPR, 2004. 211 p.

SANQUETTA, C. R. et al. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: UFPR, 2002. 265 p.

SANTOS, J. dos. **Análise de modelos de regressão para estimar a fitomassa da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira**. 1996. 121 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1996.

SCHUMACHER, M. V. et al. Retorno de nutrientes via deposição de serapilheira em um povoamento de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 791-798, nov./dez. 2003.

SCOLFORO, J. R. et al. Volumetria, peso de matéria seca e carbono. In: SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D. (Ed.). **Inventário florestal de Minas Gerais**: floresta estacional decidual: florística, estrutura, diversidade, similaridade, distribuição diamétrica e de altura, volumetria, tendências de crescimento e manejo florestal. Lavras: UFLA, 2009. p. 363-438.

SILVA, N. R.; MARTINS, S. V.; MEIRA NETO, J. A. A. Composição florística e estrutura de uma Floresta Estacional Semidecidual Montana em Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 397-405, maio/jun. 2004.

SILVA, V. F. da et al. Caracterização estrutural de um fragmento de floresta semidecídua no município de Ibituruna, MG. **Cerne**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 92-106, 2003.

SILVEIRA, P. **Métodos indiretos de estimativa do conteúdo de biomassa e do estoque de carbono em um fragmento de floresta ombrófila mista**. 2008. 112 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SNEATH, P. H.; SOKAL, R. R. **Numerical taxonomy**. San Francisco: W. H. Freeman, 1973. 573 p.

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION SCIENCE & POLICY WORKING GROUP. **The SER international primer on ecological restoration**. Disponível em:

<http://www.ser.org/content/ecological_restoration_primer.asp>. Acesso em: 10 out. 2012.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. **Biometry**. 3rd ed. New York: Freeman, 1995. 201 p.

SOUZA, J. S. **Análise das variações florísticas e estruturais da comunidade arbórea de um fragmento de floresta semidecídua às margens do rio Capivari, Lavras, MG**. 2001. 189 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

SOUZA, J. S. et al. 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. 14, n. 8, p. 75-81, out. 2002.

SOUZA, P. B. de; SOUZA, A. L. de; MEIRA NETO, J. A. A. Estrutura diamétrica dos estratos e grupos ecológicos de uma área de Floresta Estacional Semidecidual, em Dionísio, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 1, p. 151-160, jan. 2012.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos em um latossolo vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria, MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, n. 13, p. 699-707, abr. 2001.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **Statistical analysis system for Windows**: computer program manual. Cary, 1995. 705 p.

SWAINE, M. D.; WHITMORE, T. C. On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. **Vegetatio**, The Hague, v. 75, n. 1/2, p. 81-86, 1988.

SZAKACS, G. **Sequestro de carbono nos solos**: avaliação das potencialidades dos solos arenosos sob pastagens, Anhembi, Piracicaba, SP. 2003. 102 p. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

TILMAN, D. Biodiversity: population versus ecosystem stability. **Ecology**, Durham, v. 77, n. 8, p. 350-363, Aug. 1996.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 38, p. 45-94, 1985.

TRASAR-CEPEDA, C. et al. Towards a biochemical quality index for soils: an expression relating several biological and biochemical properties. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 26, n. 18, p. 100-106, Apr. 1998.

VALCARCEL, R.; SILVA, Z. S. Eficiência conservacionista de medidas de recuperação de áreas degradada: proposta metodológica. **Floresta**, Curitiba, v. 27, n. 1/2, p. 68-80, 1997.

VIANI, S.; DURIGAN, A. F.; MELO, R. Uso da fitossociologia na avaliação da efetividade da restauração florestal em uma várzea degradada do rio Mogi Guaçu, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 75, p. 51-63, set. 2010.

VIEIRA, S. R. et al. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 51, p. 1-75, 1983.

VILELA, E. de A. et al. Caracterização estrutural de floresta ripária do Alto Rio Grande, em Madre de Deus de Minas, MG. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 41-54, jan./mar. 2000.

_____. **Estudos florísticos e fitossociológicos em remanescentes de florestas ripárias do Baixo rio Parnaíba e Alto rio São Francisco, MG**. Belo Horizonte: CEMIG, 1997. 23 p.

VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; TRUBY, P. Quantificação da biomassa em floresta estacional decidual em Itaara, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 419-425, 2006.

VOIGTLAENDER, M. et al. Introducing *Acacia mangium* trees in *Eucalyptus grandis* plantations: consequences for soil organic matter stocks and nitrogen mineralization. **Plant and Soil**, The Hague, v. 352, n. 8, p. 99-111, Oct. 2012.

WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas**. 2006. 373 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

WANG, X.; FANG, J.; ZHU, B. Forest biomass and root-shoot allocation in northeast China. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 12, p. 4007-4020, Dec. 2008.

WATZLAWICK, L. F. et al. Fixação de carbono em Floresta Ombrófila Mista em diferentes estágios de regeneração. In: SANQUETA, C. R. et al. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: UFPR, 2002. p. 153-173.

WEBSTER, R.; OLIVIER, M. A. **Statistical methods in soil and land resource survey**. Oxford: Oxford University, 1990. 316 p.

WHEATON, J. M. **Review of river restoration motives and objectives**.

Disponível em:

<<http://www.geog.soton.ac.uk/users/WheatonJ/Downloads/MotivesAndObjectives.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2010.

ZHANG, H.; GUAN, D.; SONG, M. Biomass and carbon storage of *Eucalyptus* and *Acacia* plantations in the Pearl River Delta, South China. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 277, n. 1, p. 90-97, Jan. 2012.