

JAQUELINE PINHEIRO DA SILVA

**ESTOQUE DE CARBONO E NUTRIENTES NO SOLO E NA SERAPILHEIRA
SOB REMANESCENTES DE VEGETAÇÃO NATIVA**

Botucatu

2018

JAQUELINE PINHEIRO DA SILVA

**ESTOQUE DE CARBONO E NUTRIENTES NO SOLO E NA SERAPILHEIRA
SOB REMANESCENTES DE VEGETAÇÃO NATIVA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Ciência Florestal.

Orientador: Iraê Amaral Guerrini.

Linha de Pesquisa: Conservação de Recursos Naturais

Botucatu

2018

S586e

Silva, Jaqueline Pinheiro da

Estoque de carbono e nutrientes no solo e na serapilheira
sob remanescentes de vegetação nativa / Jaqueline Pinheiro
da Silva. -- Botucatu, 2018

84 p. : il., tabs., fotos, mapas + 1 CD-ROM

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Iraê Amaral Guerrini

1. Sequestro de carbono. 2. Solos florestais. 3. Fertilidade do
solo. 4. Recursos naturais Conservação. 5. Fragmentos
florestais. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ESTOQUE DE CARBONO E NUTRIENTES NO SOLO E NA SERAPILHEIRA
SOB REMANESCENTES DE VEGETAÇÃO NATIVA

AUTORA: JAQUELINE PINHEIRO DA SILVA
ORIENTADOR: IRAÊ AMARAL GUERRINI

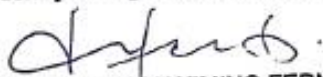
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em CIÊNCIA FLORESTAL,
pela Comissão Examinadora:

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Iraê", is positioned above the name of the orientador.

Prof. Dr. IRAÊ AMARAL GUERRINI
Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Carlos", is positioned above the name of the professor.

Prof. Dr. CARLOS DE MELO E SILVA NETO
Coordenação - Agroecologia e Agronomia / Instituto Federal de Goiás

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Dirceu", is positioned above the name of the professor.

Prof. Dr. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES
Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu

Botucatu, 20 de dezembro de 2018

Aos meus maravilhosos pais,

tradução de amor

e resumo de tudo que sou.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por toda força, amparo, ajuda e proteção. Por me mostrar que eu não podia desistir, mesmo que a ideia tenha passado pela minha cabeça mil vezes, porque eu estava aqui por um propósito maior que eu teria que cumprir.

Aos meus queridos pais, Luiz Mar e Lílian, minha irmã Isabella e ao Calvin pelo apoio incondicional, por serem anjos de Deus que também não me deixaram desistir, por me ligarem todos os dias, por não me deixarem voltar para casa, mas me mostrando que meu quarto estaria me esperando no final desses anos, quando eu concluísse meu trabalho.

Aos meus avós, por existirem e por me ligar uma vez na semana para saber se eu estava bem, viva e comendo direito.

Ao Donalvam, que está comigo em mais uma etapa, me inspirando a correr atrás do que eu sonho independente do que seja. Por me falar verdades que ninguém mais fala, mas que sempre faz com que eu acredite cada vez mais em mim. Obrigado por ser o melhor parceiro que eu poderia encontrar!

Às minhas amigas Raíssa, Rayssa, Hayssa, Amanda, Carol, Bruna e Shayene, que esperaram minha volta para casa e nunca me abandonaram. Mas em especial aos de Botucatu (Jéssica, Anny, Letícia, Laryssa, Ícaro e Cris) sem vocês minha passagem por aqui teria sido muito mais árdua. Obrigada por acabarem com o meu desespero em voltar para casa transformando tudo em comida, “catu” e música.

Ao meu Orientador Professor Doutor Iraê Amaral Guerrini, que me acolheu sem me conhecer e ainda me confiou esse projeto tão importante.

Ao Carlos de Melo, mais uma vez, por apresentar o caminho quando eu me vejo perdida, foi assim na graduação, foi assim no mestrado e tenho certeza que vai ser assim no doutorado e eternamente na minha vida.

A Deicy Lozano, que indiretamente foi minha Coorientadora. Deicy me fez começar, me mostrou o que fazer, me deu as ferramentas para isso e graças a ela eu consegui tomar posse do meu projeto.

Ao Felipe Góes, meu braço direito nesse trabalho. Felipe esteve comigo todo o tempo, me ajudou fisicamente e mentalmente, sem ele eu não teria nem mesmo começado o trabalho, muito menos terminado. Não só nas coletas de

campo, sua essencialidade foi do início ao fim. Obrigada por salvar minha vida, você é primeiro autor junto comigo.

Nunca poderia esquecer das pessoas que me acompanharam durante toda a coleta de dados, os funcionários do Departamento de Solos e Recursos Ambientais e da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da FCA, colegas da pós-graduação que quiseram se aventurar em campo e cinco queridas estagiárias da FEPE que me acompanharam na parcela mais difícil e sem reclamar.

Finalizando as pessoas e entrando em instituições, quero agradecer ao Programa Brasil Mata Viva por idealizar um projeto como esse. O Brasil e o Mundo precisam de ideias assim para salvar a nossa natureza e consequentemente a nossa vida.

Agradeço também à Universidade Estadual Paulista por ter um dos melhores programas de pós-graduação em Ciência Florestal do país e à CAPES pela bolsa cedida.

“Nada é inventado, já que está escrito primeiro na natureza. A originalidade consiste em voltar à origem.”

- Antoni Gaudi

RESUMO

Há várias décadas, estudos associam o acúmulo de gases na atmosfera, principalmente o dióxido de carbono, à elevação da temperatura do planeta. Isso evidenciou a necessidade do estabelecimento de mecanismos de quantificação do estoque de carbono em ecossistemas naturais para conversão da estimativa em créditos, que podem ser comercializados em mercado internacional, promovendo a valorização da manutenção dos recursos naturais. Porém, embora o solo apresente em média o dobro de carbono presente no estrato arbóreo, estudos de estoque de carbono são mais frequentes na parte aérea da floresta. Partindo da necessidade de complementar estudos que quantifiquem o carbono do solo e da serapilheira, assim como obter uma metodologia de quantificação de carbono mais precisa, este trabalho teve como objetivo realizar estimativas do estoque de biomassa e carbono do solo e da serapilheira a partir de 18 unidades amostrais nas Fazendas Lageado e Edgardia, pertencentes à Faculdade de Ciência Agronômica da Unesp em Botucatu, São Paulo. Foram coletadas amostras de solo até 1 metro de profundidade e serapilheira para análises químicas e amostras indeformadas para análise de densidade do solo. Com isso, realizou-se o levantamento dos nutrientes presentes nos solos das fazendas, assim como a quantificação de carbono por dois diferentes métodos, Walkley-Black e CHN Analyser. Foi encontrado, em média, $180,87 \text{ t.ha}^{-1}$ de carbono em até um metro de profundidade, enquanto que a serapilheira apresentou $3,75 \text{ t.ha}^{-1}$ de carbono. As camadas de 40 cm até 100 cm de profundidade apresentam aproximadamente a metade da quantidade de carbono em relação às camadas superficiais (0-30 cm, sugeridos pelo IPCC), assim como os fragmentos preservados evidenciaram maiores quantidades de carbono que os demais. Os valores obtidos através do método de combustão seca, com o analisador CHNS, demonstraram que a metodologia de Walkley-Black subestima o carbono do solo e superestima o carbono presente na serapilheira para todas as fisionomias. O fragmento com Mata Ciliar, tanto primária quanto secundária, apresentou maior fertilidade do solo e maiores estoques de matéria orgânica e carbono.

Palavras-chave: Cerrado. Fertilidade do Solo. Floresta Estacional Semidecidual. Mata Atlântica. Mata Ciliar. Recursos Naturais. Sequestro de Carbono.

ABSTRACT

For several decades, studies have associated the accumulation of gases in the atmosphere, especially carbon dioxide, and the rise in the planet's temperature. This highlighted the need to establish mechanisms for quantifying carbon stock in natural ecosystems to convert the estimate into credits, which has possible to be marketed in the international market, promoting the appreciation of the maintenance of natural resources. However, although the soil has on average twice the carbon present in the tree extract, carbon stock studies are more frequent in the aerial part of the forest. Based on the need to complement studies that quantify soil carbon and litter, as well as obtain a more accurate carbon quantification methodology, this work aimed to estimate the biomass and carbon stock of soil and litter from 18 sample units at The Lageado and Edgardia Farms, belonging to the Faculdade de Ciência Agronômica da Unesp in Botucatu, São Paulo. Soil samples up to 1 meter deep and litter were collected for chemical analysis and unformed samples for soil density analysis. Thus, the nutrients present in the soils of farms were surveyed, as well as the quantification of carbon by two different methods, Wakley-Black and CHN Analyser. On average, 180.87 t.ha⁻¹ of carbon was found up to one meter deep, while the litter presented 3.75 t.ha⁻¹ of carbon. Layers of 40 cm up to 100 cm deep are approximately half the amount of carbon relative to the surface layers (0-30 cm, suggested by IPCC), as well as preserved fragments showed greater amounts of carbon than the others. The values obtained through the dry combustion method, the CHNS analyzer, demonstrated that the Walkley-Black methodology underestimates soil carbon and overestimates the carbon present in litter for all physiognomy. The higher riparian forest fragment presented higher soil fertility and higher amounts of organic matter and carbon.

Keywords: Atlantic forest. Cerrado. Carbon sequestration. Natural resources. Seasonal Semideciduous Forest. Soil fertility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - A) Localização da área estudada no Estado de São Paulo, na cidade de Botucatu. B) Divisão das fisionomias dos remanescentes de vegetação nativa encontrados nas Fazendas Lageado e Edgardia, FCA/UNESP.	37
Figura 2 - Precipitação média mensal e temperatura média mensal no ano de 2017 no campus da UNESP, Botucatu.	38
Figura 3 - Imagem dos remanescentes das Fazendas Lageado e Edgardia, onde as parcelas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14 e 15 estão na Floresta Estacional Semidecidual; as parcelas 10 e 11 estão inseridas no Cerradão e as parcelas 16, 17 e 18 na Mata Ciliar do Rio Lava Pés.....	41
Figura 4 - Unidade amostral com dimensões de 20x100 m, com a divisão de vinte sub parcelas de coleta de solo e exemplificando os locais de coleta de 5 amostras compostas.....	42
Figura 5 - Profundidades das amostragens de solo: 0-20 cm; 20-40 cm; 40-60 cm; 60-80 cm; 80-100 cm.	43
Figura 6 - Trado modificado utilizado para coleta das amostras de solo	43
Figura 7 - A) Coleta de amostras indeformadas de solo; B) Anéis de densidade com amostras de solo indeformadas.	44
Figura 8 - Coleta de serapilheira com moldura de barbante	45
Figura 9 - Fisionomias dos remanescentes de vegetação nativa das Fazendas Edgardia, com a Floresta Estacional Semidecidual e Cerradão e a Fazenda Lageado com a Mata Ciliar	46
Figura 10 - Variação de densidade do solo (g.cm^{-3}) a partir da análise de regressão, ao longo das camadas, visualizando a tendência de crescimento da camada 1 (0-20), 2 (20-40), 3 (40-60), 4 (60-80) e 5 (80-100).....	51
Figura 11 - Variação das médias de densidade do solo (g.cm^{-3}) de 0 a 100 cm, em relação às fisionomias (FES1: Floresta Estacional Semidecidual Primária; FES2: Floresta Estacional Semidecidual Secundária; C: Cerrado; MC1: Mata Ciliar primária; MC2: Mata Ciliar secundária).....	52
Figura 12 - A) Comparação entre a quantidade de Matéria Orgânica média no solo em relação as profundidades estudadas; B) Comparação entre carbono médio quantificado pelo CHN Analyzer e as profundidades estudadas.	53

Figura 13 - Variação do teor de Carbono orgânico (Walkey-Black) e carbono total (CHN) entre as fisionomias (MC1: Mata Ciliar primária; MC2: Mata Ciliar secundária; FES1: Florestal Estacional Semidecidual Primária; FES2: Floresta Estacional Secundária; C: Cerrado). (Letra minúscula representa a comparação entre % de Carbono nas fisionomias). 54

Figura 14 - Variação de Carbono Total do solo entre as fisionomias, quantificado pelo CHN Analyzer. (MC1: Mata Ciliar primária; MC2: Mata Ciliar secundária; FES1: Florestal Estacional Semidecidual Primária; FES2: Floresta Estacional Secundária; C: Cerrado) 54

Figura 15 - A) Valores em porcentagem de Carbono no Solo, quantificado pelo CHN Analyser, nas camadas de solo estudadas (até 100 cm); B) Valores em porcentagem de Carbono no Solo, quantificado pelo método de Walkey-Black, nas camadas de solo estudadas (até 100 cm)..... 56

Figura 16 - Análise de PCA (componentes principais) dos diferentes tipos de solo encontrados em cada parcela e os parâmetros analisados (Nutrientes: H+Al – Acidez potencial; Al³⁺- Acidez trocável; Fe – Ferro; CTC – Capacidade de troca de cátions; P_{resina} – Fósforo; Ca – Cálcio; SB – Soma de bases; N – Nitrogênio; C – Carbono; Mg – Magnésio; M.O. – Matéria Orgânica; B – Boro; K – Potássio; V% - Porcentagem de saturação por bases; Mn – Manganês; Cu – Cobre; S – Enxofre; Zn – Zinco), (Solos: Re4 - Neossolo Litólico + Cambissolo; PEe1 - Argissolo + Chernossolo; AQa3 - Neossolo Quartzarenico + Neossolos Litólicos; BV3 + Re4 - Chernossolo + Vertissolo + Neossolo Litólico + Cambissolo; PVe1 - Argissolo; AQa4 - Neossolo Quartzarenico; Re2 - Neossolo Litólico; AQd2 - Neossolo Quartzarenico; PVe3 – Argissolos; BVV – Chernossolo; RLd - Neossolo Litólico). 62

Figura 17 - Matéria Seca de serapilheira nas fisionomias MC1 (Mata Ciliar primária), MC2 (Mata Ciliar secundária), FES1 (Florestal Estacional Semidecidual Primária), FES2 (Floresta Estacional Secundária), C (Cerrado). 63

Figura 18 - Diferença entre médias de quantificação de Carbono pelo método do IPCC (2003) e carbono quantificado pelo CHN *analyser* em cada fisionomia estudada. 64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Teores de carbono no solo calculado pelas diferentes metodologias de quantificação de carbono – Wlakey-Black e CHN - (em relação a amostra utilizada para a análise) no solo entre as fisionomias e entre as camadas. (Letra maiúscula: comparação entre fisionomias; letra minúscula: comparação entre camadas)... 58

Tabela 2 - Quantificação de carbono do solo em toneladas por hectare para cada fisionomia estudada com as diferentes metodologias realizadas para quantificação de carbono. 59

Tabela 3 - Relação de nutrientes do solo entre as fisionomias e entre profundidades presentes nas Fazendas Lageado e Edgardia. 60

Tabela 4 - Nutrientes presentes na serapilheira diferenciado por cada remanescente de vegetação nativa das Fazendas Lageado e Edgardia, UNESP – Botucatu, SP. 63

Tabela 5 - Quantificação de carbono em toneladas por hectare para cada fisionomia estudada com as diferentes metodologias realizadas para quantificação de carbono na serapilheira. 65

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	REVISÃO DE LITERATURA	24
2.1	Mata Atlântica e Cerrado	24
2.1.1	Mata Atlântica.....	24
2.1.2	Cerrado	26
2.2	Solo e Serapilheira	27
2.3	Metodologias de quantificação de carbono.....	31
2.4	Políticas públicas mundiais sobre mudanças climáticas.....	32
2.4.1	Crédito de Floresta e o Programa Brasil Mata Viva	35
3	MATERIAL E MÉTODOS	37
3.1	Área de estudo	37
3.2	Metodologia de Amostragem	40
3.3	Definição das fisionomias e estado de conservação dos remanescentes	45
3.4	Avaliação das amostras.....	47
3.5	Análises dos resultados	49
4	RESULTADOS.....	51
4.1	Densidade do Solo	51
4.2	Estoque de Carbono no solo.....	52
4.3	Fertilidade do solo	59
4.4	Serapilheira.....	62
5	DISCUSSÃO	66
6	CONCLUSÕES	73
	REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

A ciência vem buscando demonstrar associação entre o acúmulo de gases na atmosfera, principalmente o CO₂, e a elevação da temperatura desde o século passado. O aumento desses gases em consequência das ações antrópicas - desmatamento, fragmentação de florestas, queimadas e mudanças de uso do solo - vem causando sérias alterações climáticas ao longo dos anos.

A necessidade de obter medidas mitigadoras em relação aos danos começaram a ganhar consistência na década de 1970, dando início aos acordos mundiais, tais como o Protocolo de Quioto (1997). Esse tratado exigia que os países industrializados restringissem suas emissões e investissem em projetos de sequestro de carbono em países em desenvolvimento. (LOVINS; COHEN, 2011).

O processo de mitigação biológica das plantas em absorver o CO₂ do ar e fixá-lo em forma de matéria lenhosa é denominado sequestro de carbono (CHANG, 2001), fluxo que envolve os processos da fotossíntese, fotorrespiração e respiração da vegetação, somados à respiração do solo (KELL, 2012). Florestas são fontes vitais como sumidouros de carbono, contribuindo diretamente para a taxa de mudanças do clima do planeta (MARTINS, 2017), sendo os depósitos de carbono: biomassa viva acima do solo, biomassa subterrânea (raízes), madeira morta, serapilheira e matéria orgânica do solo (IPCC, 2007). O CO₂ fixado na biomassa da vegetação acima do solo é a variável mais estudada, porém, dentre os reservatórios, o solo é o principal, armazenando cerca de 1300 a 2000 Pg C nos primeiros 100 cm de profundidade (BATJES, 1998), valores que, segundo o autor, correspondem ao dobro da concentração de carbono atmosférico.

Os solos apresentam um grande potencial como sumidouro de carbono. Da mesma forma, a serapilheira é também um importante reservatório de carbono, sendo uma camada composta exclusivamente de matéria orgânica presente na superfície do solo, sendo a mesma constituída por folhas, galhos e cascas de árvores, além de animais mortos, insetos, órgãos reprodutivos, entre outros.

O relatório do IPCC (2007) divulgou opções de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, para a área florestal, o manejo florestal e o desmatamento evitado são os mais eficientes a curto prazo. Desta forma, estimativas de biomassa florestal e sequestro de carbono se tornaram ferramentas importantes que promovem a conservação através do desmatamento evitado.

Como forma de incentivar a manutenção da floresta em pé, a Organização das Nações Unidas (ONU) criou o mecanismo REDD+ (Redução de Emissões pelo Desmatamento e Degradação Florestal em Países em Desenvolvimento) (SOUZA, 2012) que propõe a comercialização de carbono estocado nas florestas, valorizando o recurso natural.

Incorporado à conservação do carbono nas florestas, existe a necessidade de integrar a conservação florestal com o pagamento por serviços ambientais (PSA), que é baseado no mercado para financiamento da conservação, considerando os princípios em que aqueles que se beneficiam dos serviços ambientais pagam por eles e aqueles que contribuem são recompensados. Neste sentido, a empresa IMEI consultoria instituiu o Programa Brasil Mata Viva (BMV), sendo um dos parceiros, Universidade Estadual Paulista (Unesp), desenvolveu uma metodologia de inventário da biomassa e carbono em todos os níveis da floresta para calcular os créditos gerados nas áreas com vegetação nativa, gerando certificação e negociação dos títulos ambientais em bolsas de valores. Porém, por ser uma iniciativa ainda recente, existe a necessidade da realização de uma série de estudos para que sua metodologia esteja ajustada aos diferentes biomas brasileiros.

Partindo da necessidade de complementar estudos que quantifiquem carbono abaixo do solo e na serapilheira, assim como obter uma metodologia de quantificação de carbono ajustada ao bioma Mata Atlântica, este trabalho tem como objetivo realizar estimativas do estoque de carbono e de nutrientes na serapilheira e no solo, entre diferentes fisionomias presentes nos remanescentes de vegetação nativa das Fazendas Experimentais Lageado e Edgardia, pertencentes à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp, buscando responder às seguintes questões:

1. Qual o estoque de carbono e de nutrientes presentes nos remanescentes florestais estudados?
2. Qual a diferença do estoque de carbono e de nutrientes presente no solo nas camadas superficiais (0-40 cm) em relação às camadas mais profundas (40-60 cm)?
3. Existe diferença nos resultados entre a metodologia de quantificação de carbono pelo método de Walkley e Black e pelo método de CHN Analyser?

4. A quantidade de carbono e de nutrientes presentes no solo e serapilheira são diferentes em diferentes formações florestais?

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Mata Atlântica e Cerrado

2.1.1 Mata Atlântica

A Mata Atlântica está presente em grande parte da região litorânea brasileira, sendo considerada, dentre os conjuntos de ecossistemas um dos mais ricos em termos de diversidade biológica do planeta (MMA, 2010). Originalmente a floresta se estendia por 17 estados, cobrindo cerca de 1,3 milhões de Km², ou seja, 15% do território nacional. Representando a segunda maior floresta tropical úmida em território brasileiro, é atualmente o terceiro bioma em extensão no Brasil, atrás da Amazônia e do Cerrado, representando menos de 10% de sua extensão original (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2001). Somente entre os anos de 2015 e 2016 foram desmatados mais de 29 mil hectares do bioma nos 17 estados em que ele está presente (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2017).

Sua grande extensão determina ampla variação em suas características: desde uma floresta muito úmida próxima ao litoral a uma mais seca no interior, assim como uma floresta sempre quente nas menores latitudes a uma com invernos rigorosos em seus limites ao sul. Toda essa amplitude geográfica faz com que o bioma apresente uma série de fisionomias muito diferentes entre suas porções (SILVA et al., 2015). Portanto, a Mata Atlântica é composta de cinco grupos de fitofisionomias mais comuns: Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Decidual (MMA, 2010).

Uma vez que a Mata Atlântica possui diversas fisionomias, é necessário a descrição da fisionomia presente na Fazenda Edgardia, pertencente a Universidade Estadual Paulista, que apresenta a Floresta Estacional Semidecidual (FES), e, de acordo com o Mapa de Vegetação do Brasil (IBGE, 2012), caracteriza-se pela ocorrência de clima estacional que determina a semidecidualidade da folhagem da cobertura florestal. Possui uma associação entre um período marcado por uma acentuada seca (hibernal ou com períodos bastante frios), que faz com que ocorra o repouso fisiológico e queda parcial das folhas, e por intensas chuvas no verão.

Em termos de biodiversidade, a Mata Atlântica possui a segunda maior riqueza de espécies da flora e da fauna brasileiras (SANTOS, 2010). Mesmo tendo essa grande riqueza em biodiversidade em suas divisões, é um dos biomas brasileiros mais alterados por atividades antrópicas, situação ainda mais crítica em algumas regiões como nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais (COUTINHO, 2010), que têm um longo histórico de desmatamento e degradação do solo associado a numerosos ciclos de desenvolvimento agrícola desde a era colonial (ENGEL; PARROTTA, 2001). Dos remanescentes florestais do bioma, mais de 80% são menores que 50 ha (RIBEIRO et al., 2009)

A principal forma de alteração do bioma é através da mudança de uso do solo com o extrativismo e, posteriormente, pelo manejo agrosilvipastoril. Esse manejo inadequado do solo causa alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo nas áreas referentes a floresta (BODDEY, 2003). Assim, as perdas da cobertura vegetal refletem negativamente tanto de forma local, com o desabastecimento de água, quanto de forma global, com a maior emissão de gases do efeito estufa para a atmosfera (COUTINHO, 2010). Em uma escala global estima-se que o desmatamento contribui com 8 a 15% das emissões anuais antropogênicas globais (HOUGHTON; BYERS; NASSIKAS, 2015). Já no Brasil, as principais causas de emissões de CO₂ são as mudanças de uso da terra que representam 75% do total enquanto a queima de combustíveis fósseis equivale a 25% dessas emissões (CERRI; CERRI, 2007).

Portanto, existe uma necessidade em se entender melhor a relação entre a diversidade florística, características do solo e o estoque de carbono em florestas tropicais, com o intuito de delinear políticas de conservação para a redução de emissões de CO₂ e consequentemente para a preservação ambiental (CAVANAUGH et al., 2014). Porém, na Mata Atlântica, os trabalhos que englobam essa relação são escassos (ALVES et al., 2010), se mostrando evidente a grande necessidade de estudos relacionados às características biológicas e ecológicas em ambientes fragmentados de todos os biomas, visando delinear um perfil do seu funcionamento (ALVES et al., 2010), a conservação e o sequestro de carbono dos mesmos.

2.1.2 Cerrado

O bioma Cerrado possui 2 milhões de quilômetros quadrados e abrange os estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Rondônia, Amapá, Goiás, Tocantins, Maranhão, Ceará, Piauí, Bahia, Minas Gerais, São Paulo e Distrito Federal, sendo a segunda maior formação vegetal brasileira, representando 23% do território (AGUIAR et al, 2004). O bioma é composto de um mosaico de vários tipos de vegetação que resulta em grande diversidade de solos, de topografia e de climas (ALHO; MARTINS, 1995).

O Bioma Cerrado possui características climáticas particulares, apresentando concentração de chuva no verão que vão de 1.200 a 1.800 mm e cinco a seis meses de período seco no inverno (GUARESCHI et al, 2012). O contraste entre as superfícies mais baixas, inferiores a 300 m, e as longas chapadas, superiores a 1000 m, e sua extensa distribuição em latitude conferem ao Cerrado uma grande diversificação térmica (IBGE, 2012).

A maior parte do bioma Cerrado é dominada por solos do tipo Latossolo, mas há uma grande quantidade de outras classes de solos, associadas com as condições de clima, favorecendo que a grande diversidade de espécies vegetais se estabeleça, seja do estrato gramíneo, arbustivo ou arbóreo (REATTO et al, 2008).

O Cerrado apresenta fisionomias que englobam que vão desde formações savânicas até campestres. Em relação a fisionomia, a floresta representa áreas com predominância de espécies arbóreas com formação de dossel, as savanas refere-se a áreas com árvores e arbustos sem a formação de dossel e as áreas de campo são aquelas com predomínio de espécies herbáceas e arbustivas (SANO et al., 2008).

A flora do Cerrado é característica e diferenciada dos biomas adjacentes. Segundo Eiten (1994), características como o clima, o solo, a disponibilidade de água assim como de nutrientes, a geomorfologia, a topografia, a latitude, as queimadas, a profundidade de lençol freático, o pastejo e fatores antrópicos influenciam na distribuição da flora deste bioma. Segundo Ribeiro e Walter (2008), existem onze tipos principais de vegetação para o bioma Cerrado, sendo quatro formações florestais, quatro formações savânicas e três formações campestres. As formações florestais são Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão;

as formações savânicas são os Parques de Cerrado, o Cerrado sentido restrito, Palmeirais e Veredas; e as formações campestres apresentam os Campos Sujos, Campo Limpo e Campo Rupestre.

Dentro da Fazenda Edgardia, onde foi realizado parte do estudo, há um remanescente de Cerradão. O cerradão é uma fisionomia rara do bioma Cerrado, ocorrendo em apenas 1% das áreas, possuindo uma vegetação variável, de acordo com a fertilidade do solo presente no fragmento (MARIMON JUNIOR; HARIDASAN, 2005). Essa fisionomia possui características esclerófilas, ou seja, vegetais com folhas duras, coriáceas, e, embora possa ser perenifólio, o padrão geral é semidecíduo, apresentando caducifolia em determinados períodos na estação seca (SANO; ALMEIDA; RIBEIRO, 2008).

O Cerradão possui solos profundos, bem drenados, com fertilidade média a baixa que recebe um incremento anual de resíduos orgânicos oriundos serapilheira com maior deposição de folhas durante a estação seca. O bioma também tem como característica um médio teor de matéria orgânica nos horizontes superficiais (SANO; ALMEIDA; RIBEIRO, 2008).

Nas áreas de Cerrado com esta fisionomia são encontrados os maiores estoques de carbono no solo. Fernandes e Fernandes (2009) encontraram 81,9 t.ha⁻¹ de carbono no solo de cerradão até 40 cm de profundidade em solos do Mato Grosso. Scolforo et al. (2008), ao realizar o levantamento de carbono no solo de um fragmento de cerradão em Minas Gerais, encontraram 45,1 t.ha⁻¹ de carbono até 40 cm de solo.

2.2 Solo e Serapilheira

O solo é o resultado de complexas interações entre os minerais, as plantas e a biota edáfica. O mesmo funciona como um meio para o crescimento das plantas, regulando e compartimentalizando o fluxo de água, estocando e promovendo a ciclagem de elementos químicos e servindo como um tampão ambiental (LARSON; PIERCE, 1994).

Os solos presentes nas regiões tropicais desempenham um papel importante como depósito de CO₂ da atmosfera auxiliando na redução do efeito estufa. Estudos a respeito do carbono orgânico do solo em diversas regiões do Brasil sob diferentes ecossistemas fornecem subsídios importantes para a

avaliação da qualidade do solo e do seu armazenamento de carbono. Estudos como o de Mello (2006) demonstram, ao avaliar o potencial de sequestro de carbono na região da Mata Atlântica, que na camada de 0 a 20 cm de solo houve um aumento de 144 a 154 Tg ano⁻¹ de C, comprovando esse potencial de absorção; porém, devido à sua complexidade, ainda existe grande necessidade de aprofundar nesses assuntos.

Caldeira et al (2002) descreve que o carbono orgânico do solo se encontra em três diferentes formas, sendo elas as formas muito condensadas (como carvão vegetal, mineral e grafite); os resíduos de plantas, animais e microrganismos (que são muito resistentes à decomposição, chamados de húmus) e os resíduos orgânicos pouco alterados de vegetais, animais e microrganismos vivos e mortos, que apresentam decomposição bastante rápida no solo e se transformam em matéria orgânica.

A Matéria Orgânica (MO) do solo é a fonte de N, S e P às plantas e seu conteúdo, na maioria dos solos, varia entre 1 e 10%. Ela possui grande superfície específica que é reativa em virtude da dissociação de grupos COOH, OH e NH₂, produzindo ainda complexos com Fe, Mn, Ca, Mg e outros. A MO é a fração sólida do solo constituída de compostos orgânicos de origem vegetal e/ou animal, em com os mais variados graus de transformação, sendo o estágio mais avançado de transformação o húmus (REICHARDT; TIMM, 2004), é uma combinação de moléculas complexas de vários tamanhos e formas, feitas através da ação microbiana sobre os resíduos vegetais (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011).

A decomposição da MO ocorre pelo grande número de microrganismos nativos do solo, levando à produção de CO₂, H₂O, elementos como N, P e húmus que possuem compostos de alto peso molecular. Assim, ocorre o aumento da CTC devido a radicais livres presentes na estrutura, aumentando a disponibilidade de nutrientes, o poder tampão, o pH e diminuindo a toxicidade do Alumínio (REICHARDT; TIMM, 2004). A presença de matéria orgânica é a principal responsável pelas fontes de cargas negativas dos solos das regiões subtropicais, essas cargas negativas são responsável por adsorver nutrientes para as plantas, assim como para outros compostos orgânicos e inorgânicos que estão presentes no meio (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011).

Há no solo fontes e sumidouros de CO₂, O₂, NH₃, N₂, SO₂, e uma série de compostos orgânicos voláteis (REICHARDT; TIMM, 2004). A acumulação ou

perda de carbono em solos orgânicos é resultado de um balanço entre entradas e saídas de carbono no ambiente. Essa dinâmica está ligada intimamente ao regime hidrológico local, umidade disponível, profundidade do lençol freático, condições de redução e oxidação (THORMANN et al., 1999), e da composição da serapilheira em decomposição. Pelo fato da entrada de material orgânico no solo ser em sua maioria da serapilheira, o carbono orgânico tende a se concentrar nas camadas mais superficiais, principalmente nos primeiros 30 cm (RUGGIERO, 2013). Barbosa et al. (2017), ao realizar a avaliação do estoque de biomassa e carbono de serapilheira em um fragmento de Mata Atlântica com fisionomia de Floresta Estacional Semidecidual Montana, observaram um acúmulo de 6,3 t.ha⁻¹ de serapilheira.

As plantas se desenvolvem na matriz do solo compostas pelos minerais e, pelo processo de fotossíntese, transformam a energia luminosa em energia química, produzindo a matéria vegetal, rica em energia e carbono (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011). Cerca de 40% do carbono que é assimilado pelas folhas são passados para as raízes e através da deposição de exsudações são incorporados ao solo (SILVA et al, 2004). O carbono pode ser armazenado nos compartimentos da MO do solo melhorando suas características físicas (VASCONCELOS et al, 2010; CUNHA, 2011) ou liberado para a atmosfera, intensificando o efeito estufa (LASCALA et al, 2001). Segundo Malhi (2002), as plantas investem uma porção extra de carbono na produção das raízes e de seus exsudados, aumentando assim o suprimento de energia.

Os organismos, e principalmente os microrganismos heterotróficos, utilizam o tecido da parte aérea e das raízes e os exsudados das plantas para extrair energia e carbono que necessitam para seu desenvolvimento, havendo a liberação de exsudatos no solo e de CO₂ para a atmosfera, além da formação de compostos orgânicos como subproduto deste processo, convertendo a energia em matéria de uma forma para outra, caracterizando o fluxo no sistema solo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011).

A Floresta Amazônica e a Mata Atlântica são ecossistemas naturais tropicais úmidas, apresentando altas produtividades. Desta forma, a presença de calor e de umidade favorecem a decomposição da matéria orgânica do solo, outro fator que favorece a formação de grandes estoques de carbono é a ausência de perturbação física do (RUFINO, 2009). Essas florestas estão presentes há

milhares de anos, fazendo com que haja um equilíbrio entre as taxas de deposição de matéria orgânica e as taxas de decomposição, tornando estáveis os estoques de carbono (BODDEY, 2003).

Segundo Machado (2016), o compartimento de carbono no solo é quatro vezes o compartimento de C da vegetação, e este é composto por carbono orgânico e mineral, sendo que o orgânico representa o equilíbrio entre carbono adicionado ao solo pela vegetação e aquele que é perdido para a atmosfera, por exemplo, porém pouco se sabe em relação aos valores de perdas de carbono do solo para a atmosfera. O carbono orgânico apresenta-se na matéria orgânica viva do solo (fungos, bactérias, minhocas, ácaros, raízes, etc.), e corresponde a menos de 4% do carbono orgânico total do solo, já a matéria orgânica morta corresponde a 98%, ou seja, à maior parte do carbono orgânico do solo (MACHADO, 2005).

Áreas cultivadas e de pastagem possuem menos carbono que solos sob floresta, uma vez que a retirada da vegetação diminui a camada de matéria orgânica disponível (BATJES et al, 1997), devido ao aumento da insolação e da chuva, por exemplo, aumentando a decomposição. Sem a proteção da camada orgânica proveniente da vegetação, o solo também passará a emitir o carbono armazenado, diminuindo substancialmente suas reservas, inclusive em profundidade (FEARNSIDE, 2010). Ainda segundo o autor, a estabilidade do carbono do solo é crítica quando a floresta é desmatada ou sofre outras perturbações. O aumento da temperatura do solo faz com que maiores quantidades de carbono sejam emitidas pelo solo à atmosfera.

Para garantir um eficiente acúmulo de serapilheira, sua decomposição e absorção de carbono pelos solos, a conservação e o manejo são de extrema importância, uma vez que a ocorrência de processos erosivos pela errônea utilização do solo ocasiona uma quebra de agregados e expõe sua matéria orgânica às ações do intemperismo (FERREIRA et al., 2008), impossibilitando que a microbiota fixe o carbono orgânico, liberando-o no ar e diminuindo de forma significativa seu potencial como sumidouro de carbono (MEDEIROS et al, 2014). Contudo, por ser uma variável que possui uma maior dificuldade para coleta de dados, poucos estudos são realizados com o mesmo para quantificação de carbono, uma vez que em sua maioria são realizadas pesquisas de quantificação acima do solo.

2.3 Metodologias de quantificação de carbono

A matéria orgânica do solo (MOS) se apresenta como uma abundância de resíduos de animais e vegetais decompostos ou parcialmente decompostos e sintetizados, encontrando-se em contínua decomposição através do trabalho de microorganismos do solo (OLIVEIRA & PERMONIAN, 2002).

O carbono do solo provém da matéria orgânica do solo e de minerais carbonatados em alguns solos com origem calcária. A quantificação desse carbono tem sido realizada empregando vários métodos, podendo determinar ou a forma do carbono total no solo (CT) ou a sua forma orgânica (CO) (GATTO, 2009).

A quantificação de carbono orgânico pode ser realizada através da metodologia de Walkey-Black, que realiza a oxidação do carbono orgânico por dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) e, posteriormente, determina o dicromato não reduzido pela titulação de oxirredução com Fe^{2+} , podendo ser por métodos calorimétricos também (NELSON; SOMMERS, 1996). Segundo o Manual de Análises Químicas do Solos, Plantas e Fertilizantes, editado pela Embrapa Solos (SILVA, 2009), a oxidação da matéria orgânica ocorre por via úmida, através da utilização do dicromato de potássio que em meio sulfúrico, emprega o calor desprendido do mesmo como fonte de energia. Essa determinação por ser realizada tanto pela ausência, quanto na presença de uma fonte de aquecimento externo e pode haver variação dos valores de acordo com o horizonte (DIAS; OLIVEIRA, 1997).

Silva (2009) descreve que no ânion dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) o Cr^{6+} oxida a matéria orgânica contida no solo a gás carbônico (CO_2), enquanto sofre redução a Cr^{3+} . Esse método admite que a matéria orgânica possui 58% de carbono orgânico, porém o mesmo está sujeito a interferências de constituintes do solo como o cloro, ferro e manganês (SEGNINI et al, 2008).

O método de quantificação de Walkey-Black possui como problemas a análise feita com o dicromato, pois causa receios em relação a geração de resíduos tóxicos. Alguns autores também criticam a metodologia (RHEINHEIMER et al, 2008), uma vez que, segundo eles, o método não promove a oxidação completa de carbono orgânico, não alcançando as formas elementares de carbono em amostras de solo, podendo ser passível de erros na determinação, sendo necessário um fator de correção. Segundo Schumacher (2002), estima-se que a

recuperação de carbono orgânico usando este procedimento seja em média de 76%, podendo variar de 60 a 86%. Desta forma, a quantificação de Walkey-Black tem sido utilizado intensamente para estudos de carbono no solo, porém, nos últimos anos métodos de quantificação a seco tem se tornado referência mundial.

Para determinação do carbono do solo é necessária a conversão de todas as formas de carbono em CO_2 . Sendo assim, a determinação do carbono através do CHNS Analyser é uma das formas mais eficientes na determinação do carbono por converter através de amostras de solo moídas e acondicionadas em cápsulas, oxidadas com O_2 à uma temperatura de aproximadamente 1000°C , todo o carbono presente em CO_2 (SKJEMSTAD; TAYLOR, 1999). Essa metodologia, denominada metodologia de Mebius modificada, realiza o aquecimento externo das amostras, resultando em maior precisão na determinação do carbono total dos solos.

Uma série de equipamentos para determinação de C, N e H simultaneamente, tem sido desenvolvidos. Mesmo com um elevado custo inicial, eles possibilitam que várias amostras sejam analisadas em menor tempo, com uma variabilidade mínima entre elas. Para o reconhecimento de Crédito de Carbono, o método referência é o de combustão seca, uma vez que não há a geração de resíduos tóxicos e maléficos à saúde como no método de Walkey-Black, porém, poucos são os laboratórios de análise de solo que realizam essa determinação, em função do alto custo da aquisição do equipamento e, conseqüentemente, dos custos das análises.

2.4 Políticas públicas mundiais sobre mudanças climáticas

O efeito estufa surgiu no planeta como um fenômeno natural que permitiu o surgimento e a manutenção da vida, uma vez que sem ele, a superfície do planeta seria de aproximadamente 33°C mais fria, com uma temperatura média de -18°C . Sem alterações internas, o efeito estufa faz com que uma parte da radiação solar seja refletida e volte para o espaço e o restante da radiação solar que entrou na atmosfera seja absorvida pela superfície terrestre (SOUSA, 2012). Porém, devido a ações antrópicas em todo mundo, esse efeito se tornou acelerado, causando inúmeras mudanças climáticas. A queima de combustíveis fósseis e as mudanças de uso da terra (desmatamento e ocupação

agrosilvipastoril) são as principais causas de mudanças climáticas, pois liberam uma grande quantidade de CO₂ (SEIFFERT, 2009). Essas mudanças ocorrem devido a modificação do ecossistema, pois antes o dióxido de carbono (CO₂) era armazenado e hoje é liberado para a atmosfera ocasionando o desequilíbrio (TEOBALDO, 2013). Segundo Marengo e Lopes (2009), estima-se que anualmente uma média de 7,1 Gt de carbono sejam lançados à atmosfera, esse lançamento é consequência das atividades humanas e são provenientes do desmatamento de florestas tropicais e outras mudanças de uso da terra.

O mercado global de carbono passou a existir com o Protocolo de Quioto de 1997, responsável por estabelecer um mecanismo de “limitar e negociar” para atender aos limites de gases de efeito estufa definidos pelos países do mundo na Eco 92 do Rio de Janeiro. O protocolo também introduziu os “mecanismos flexíveis” para possibilitar variabilidades nas abordagens de redução de carbono como a negociação das emissões, os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL). Os MDL consistem em destinar um recurso de redução das emissões globais por meio da criação de projetos de neutralização do carbono em países desenvolvidos e da venda posterior dessas neutralizações na forma de créditos em mercados regulamentados (LOVINS; COHEN, 2013). Porém, até o final do protocolo, poucos projetos MDL referentes ao uso da terra e florestas foram implementados no Brasil (RUGGIERO, 2013).

Durante os últimos 140 anos a expansão da agricultura levou a uma alta liberação de carbono para a atmosfera, proveniente da derrubada de florestas, o Brasil contribuiu como o maior responsável pela emissão de gases de efeito estufa pela mudança no uso da terra (WATSON, 2000; FEARNSIDE, 2010a). Devido ainda à crescente preocupação relacionada ao desmatamento, queimadas e demais causadores do aquecimento global, foi identificada a necessidade não somente de que se evite emissões de carbono, mas de que os países que preservam suas áreas florestais atuem como sumidouros de carbono (RUGGIERO, 2013). Assim, também a partir da década de 90, representantes de alguns países passaram a se reunir anualmente para a tomada de decisões em prol do combate as mudanças climáticas, reuniões essas denominadas de Conferência das Partes (COPs) (ALVARENGA et al, 2006).

Em uma dessas conferências (COP 15), que ocorreu em Copenhague em 2009, foi definida como urgente a implantação do mecanismo REDD (Redução

de Emissões por Desmatamento e Degradação), que consiste na comercialização de créditos de carbono estocado nas florestas valorizando o recurso natural e incentivando tanto a preservação quanto a recuperação de áreas degradadas. Esse mecanismo se mostrou um avanço, pois as emissões resultantes da derrubada de florestas antes não eram consideradas pelo Protocolo de Quioto (IPAM, 2011). Assim, passou a se chamar REDD+, uma vez que incluíram a conservação, o manejo florestal e o incremento dos estoques de carbono florestal (CENAMO et al, 2010).

Em dezembro de 2015, como uma substituição ao Protocolo de Quioto, a Comissão das Nações Unidas para Controle das Mudanças do Clima (UNFCCC) aprovou, na Conferência das Partes (COP 21), o Acordo de Paris. Esse acordo prevê que novos procedimentos sejam tomados pelos Países integrantes para limitar a variação de temperatura global de até 1,5 °C até 2030, apostando em uma economia verde que prioriza a natureza tanto na vertente energética como na florestal.

A redução das emissões de CO₂, CH₄ e o N₂O para a atmosfera é uma das principais estratégias no que concerne à redução das mudanças climáticas. O Brasil se propôs, na COP 21, a reduzir suas emissões até 2030, pegando como base os valores de 2005. Esse objetivo seria alcançado com o comprometimento do governo em zerar o desmatamento ilegal na Amazônia até 2030. Outra estratégia é a do sequestro de carbono, ou seja, diminuir a concentração dos gases do efeito estufa através da incorporação dos mesmos na biomassa vegetal (CAVALLET; PAULA, 2007). Assim, o governo tinha como objetivo reflorestar 12 milhões de hectares e aumentar a participação de fontes renováveis, não incluindo a fonte hidráulica, na matriz elétrica para 23%.

O armazenamento e sequestro do carbono é um dos serviços ambientais mais reconhecidos, sendo considerado uma das mais importantes soluções para diminuir os efeitos do CO₂ atmosférico (IPCC, 2007), devido à grande capacidade da vegetação de fixar o carbono e estocar como biomassa e do sequestro de carbono pelo solo, uma vez que este último apresenta um estoque ainda maior.

2.4.1 Crédito de Floresta e o Programa Brasil Mata Viva

O Acordo de Paris, aprovado na COP 21 em 2015, estimula a criação de energia oriunda de fontes renováveis e limpas e a priorização da preservação da natureza pelos países integrantes, reconhecendo os serviços ambientais e criando modelos que valorizam economicamente a Floresta Amazônica, Mata Atlântica, Cerrado, Pantanal, Caatinga e outros biomas nativos, não só no meio rural como também no urbano.

O Programa Brasil Mata Viva, criado em 2006, é uma iniciativa voltada à sustentabilidade do planeta, que integra economia, comunidade e ecologia com base no mercado de ativos, créditos, títulos e estruturação dos negócios ambientais. Ele desenvolveu um programa de inventário de biomassa para calcular os créditos gerados pelos ativos ambientais de propriedades ou locais que se encaixem no projeto, gerando certificação e negociação dos títulos ambientais em bolsas de valores quase uma década antes do Acordo de Paris.

O programa é aplicado através de uma metodologia criada pela parceria entre Universidade Estadual Paulista – UNESP e a empresa IMEI – Consultoria e Treinamentos Empresariais, em que se realiza a quantificação da biomassa das espécies arbóreas através da mensuração do seu diâmetro e altura, a quantificação do carbono no solo, raízes e serapilheira e, posteriormente, o monitoramento das áreas cadastradas, sendo o aferimento e validação dos valores feito pela UNESP. Esse patrimônio ambiental público ou particular gera uma unidade de medida, a Unidade de Crédito de Sustentabilidade (UCS), na forma de certificado de titularidade, que garante o direito de crédito do bem imaterial, onde as empresas podem realizar a compensação do impacto das atividades produtivas através da preservação e proteção do patrimônio ambiental obtendo ganhos com rentabilidade competitiva em relação às opções de mercado.

Em 2012, a IMEI criou o Crédito de Floresta (CF) com natureza jurídica de um “título de direito sobre bem intangível e incorpóreo transacionável” (art. 3º, XXVII, da Lei Florestal nº 12.651/2012). O CF é uma forma de pagamento ambiental por todos os consumos gerados pelos seres humanos, geração de resíduos e emissão gases de efeito estufa, entre outros.

O CF conversa, assim, com o REDD+, levando em consideração não somente a redução de emissões de gases ou o estoque de carbono presente na

floresta, mas incluindo a conservação da floresta, o manejo florestal como forma de conservação, o incremento dos estoques de carbono florestal tanto da biomassa acima do solo, quanto abaixo do solo, a conservação da floresta em relação a presença da fauna e a qualidade da água.

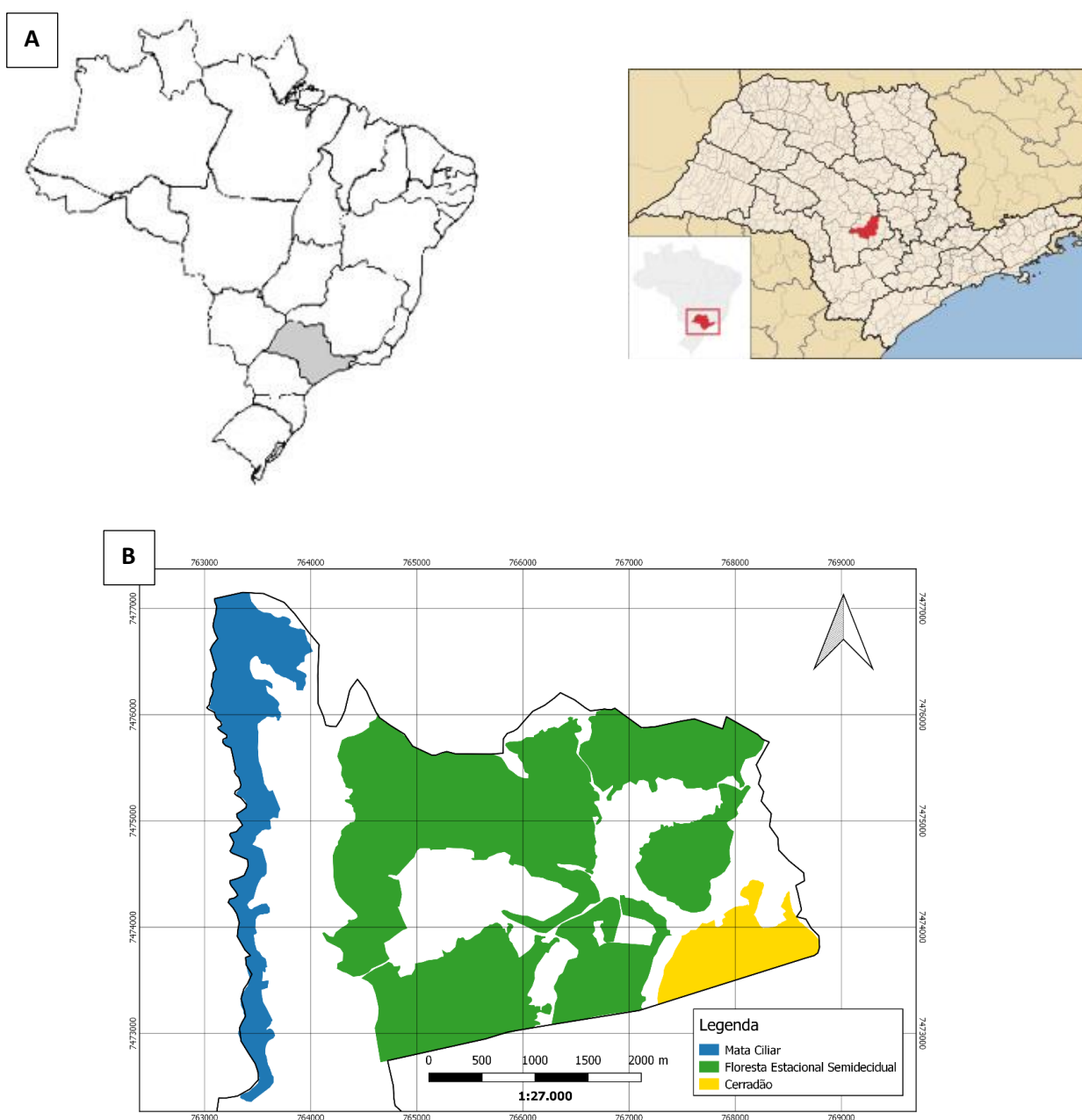
Foram realizadas as quantificações de carbono em regiões de floresta Amazônica brasileira, onde, segundo Higuchi et al (2009), o estoque de carbono florestal estimado está entre 60 e 80 bilhões de toneladas, e estão sendo testadas metodologias ajustadas para regiões de Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

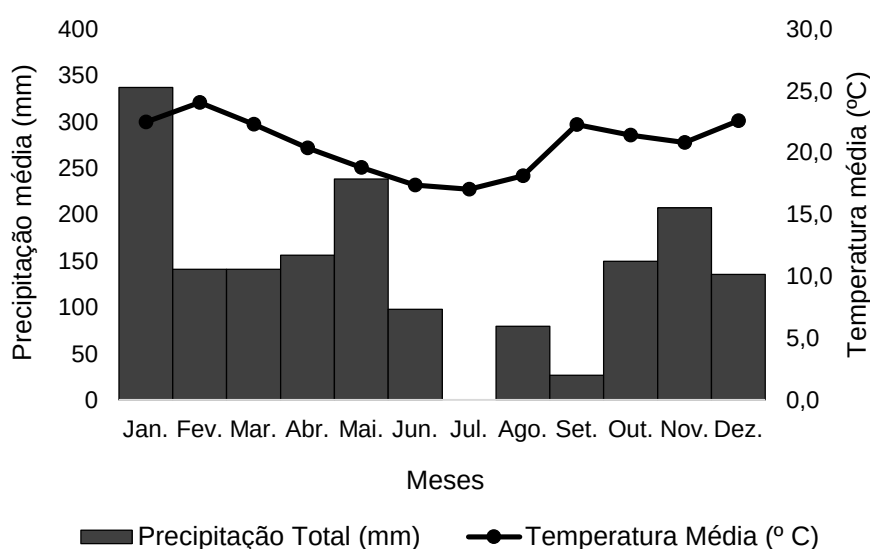
As áreas de estudo foram instaladas no Estado de São Paulo, município de Botucatu, nas Fazendas Experimentais Edgardia e Lageado, nos remanescentes de vegetação nativa pertencentes à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista (UNESP) (Figura 1).

Figura 1 - A) Localização da área estudada no Estado de São Paulo, na cidade de Botucatu. B) Divisão das fisionomias dos remanescentes de vegetação nativa encontrados nas Fazendas Lageado e Edgardia, FCA/UNESP.



O clima da região é classificado, de acordo com Köppen, como Cfa (ALVARES et al, 2013), ou seja, subtropical úmido e quente. Segundo os dados meteorológicos coletados na estação da UNESP, a precipitação média mensal do ano de 2017 (ano de realização das coletas), para a região, foi de 1.707,1 mm, sendo a máxima no mês de janeiro e mínima em julho, mês sem precipitação. Já a temperatura média mensal foi de 20,6 °C, sendo que atingiu o valor máximo no mês de fevereiro com 24 °C de média, e o mínimo no mês de julho, com 17 °C de média (Figura 2).

Figura 2 - Precipitação média mensal e temperatura média mensal no ano de 2017 no campus da UNESP, Botucatu.



A vegetação natural das áreas é classificada como Floresta Tropical Estacional Semidecidual, domínio da Mata Atlântica (IBGE, 2012), e na região encontram-se fragmentos de vegetação natural de Floresta Estacional Semidecidual (FES) e Cerradão (JORGE; SARTORI, 2002; MACHADO, 2016). A FES ocupa ambientes que estão entre zonas úmidas costeiras e ambiente semiárido, com espécies que possuem como características uma razoável perda de folhas no período seco. O Cerradão é uma formação do bioma Cerrado, com espécies de característica esclerófilas e xeromórficas, com formação de dossel contínuo e solos profundos, bem drenados de média a baixa fertilidade.

Segundo Nogueira Júnior (2010), alguns remanescentes se apresentaram em bom estado de conservação, assim como há outros que estão em recuperação natural. Esses remanescentes estão recebendo uma atenção

especial nos últimos anos por situarem-se em uma Área de Preservação Ambiental (APA) de Botucatu, considerada um importante ponto de recarga do aquífero Guarani (NOGUEIRA JÚNIOR, 2010; CARVALHO, 2016).

No limite da Fazenda Edgardia encontra-se o início do reverso da *cuesta*, onde uma estreita faixa apresenta as maiores altitudes na área e onde está alocada algumas das parcelas. Em áreas próximas aos rios (Rio Lavapés que faz parte da Bacia do Rio Capivara) ocorreram depósitos de materiais sedimentares coluviais recentes, provenientes de rochas-básicas intemperizadas (CARVALHO; PANOSO; MORAES, 1991; CARVALHO, 2016).

As classes de solo que estão presentes nas áreas de estudo possuem características intimamente relacionadas ao ambiente e ao remanescente estudado. É possível incluir como característica dos solos da região desde solos rasos que apresentam afloramentos de rochas (Cuesta Basáltica), solos profundos (que apresenta ou não horizonte B textural) e solos característicos de deposição e gleização na várzea do Rio Lavapés, presente na área (JORGE; SARTORI, 2002; CARVALHO, 2016). Segundo Carvalho (2016), os solos possuem alta fertilidade, porém apresentam grande fragilidade a erosão devido à declividade. A classificação dos solos nas Fazendas da UNESP, Campus Botucatu, foi realizada por Carvalho et al. (1991). Desta forma, o Quadro 1 apresenta essa classificação de solo para cada parcela realizada nas fazendas, com as simbologias e nomenclaturas de acordo com a Silva (2009).

Quadro 1 - Tipos de solo dos remanescentes de vegetação nativa da UNESP - Botucatu, descritos através dos símbolos e a descrição, segundo a SILVA (2009).

PARCELA	SOLO
Parcela 1	Re4: Neossolo Litólico + Cambissolo
Parcela 2	Re4: Neossolo Litólico + Cambissolo
Parcela 3	Re4: Neossolo Litólico + Cambissolo
Parcela 4	PEe1: PEe1:Argissolo + Chernossolo
Parcela 5	AQa3: Neossolo Quartzarenico + Neossolos Litólicos
Parcela 6	BV3 + Re4: Chernossolo + Vertissolo + Neossolo Litólico + Cambissolo
Parcela 7	PVe1: Argissolo
Parcela 8	AQa4: Neossolo Quartzarenico
Parcela 9	Re2: Neossolo Litólico
Parcela 10	AQa4: Neossolo Quartzarenico
Parcela 11	AQd2: Neossolo Quartzarenico
Parcela 12	Re4: Neossolo Litólico + Cambissolo
Parcela 13	Re4: Neossolo Litólico + Cambissolo Tb
Parcela 14	PVe3: Argissolos
Parcela 15	BVV: Chernossolo
Parcela 16	RLd: Neossolo Litólico
Parcela 17	RLd: Neossolo Litólico
Parcela 18	RLd: Neossolo Litólico

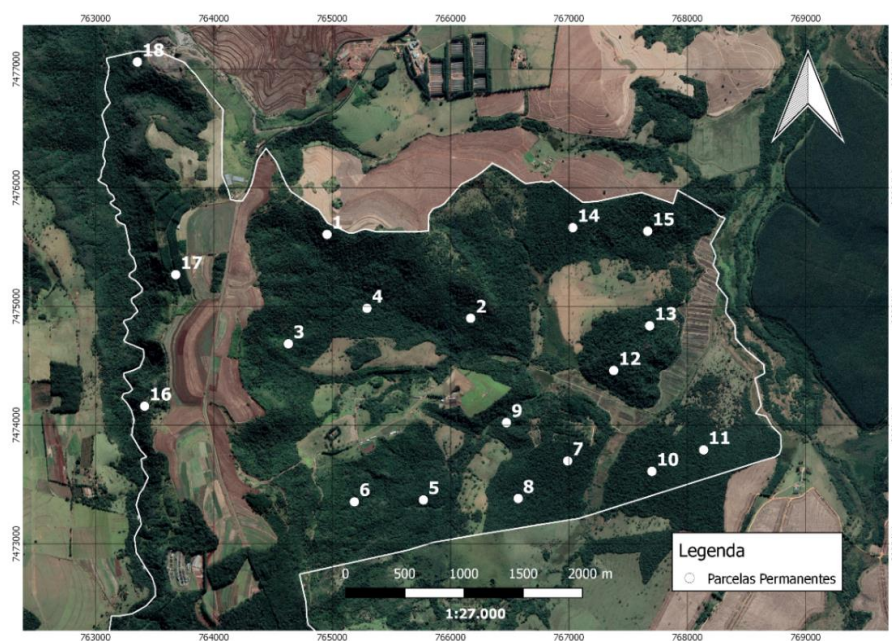
3.2 Metodologia de Amostragem

As áreas estudadas fazem parte das Fazendas Lageado e Edgardia, onde todos os remanescentes de vegetação nativa foram estudados, sendo quantificadas para venda do Crédito de Floresta pelo projeto Brasil Mata Viva, projeto que consiste na quantificação de carbono total dos fragmentos de vegetação nativa.

As áreas foram escolhidas por meio de amostragem aleatória e a seleção de cada unidade amostral foi realizada ao acaso (PÉLLICO-NETTO; BRENA, 1997; MARTINS, 2017). O estudo foi composto de dezoito unidades amostrais (parcelas) de 20m x 100m (2000 m²) das quais três foram instaladas na Mata Ciliar do Rio Lavapés, duas foram instaladas no remanescente de Cerradão e 13 foram instaladas nos remanescentes de Floresta Estacional Semidecidual (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

O tamanho da parcela foi definido de acordo com a metodologia que já é utilizada pelo programa Brasil Mata Viva. A unidade amostral foi definida de acordo com a necessidade do estudo, sendo suficiente para incluir um número representativo de árvores e para que a relação entre o tempo de estabelecimento e tempo de trabalho não seja muito alta, para não onerar os custos do inventário, não havendo, então, um tamanho de amostra ideal. Para definição do local de cada unidade amostral foi realizado o reconhecimento anterior da área, sendo levado em consideração a possibilidade de acesso, diferença entre vegetação, declividade, característica do solo, para que, desta forma, houvesse o levantamento de todas as diferentes características dos remanescentes.

Figura 3 - Imagem dos remanescentes das Fazendas Lageado e Edgardia, onde as parcelas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14 e 15 estão na Floresta Estacional Semidecidual; as parcelas 10 e 11 estão inseridas no Cerradão e as parcelas 16, 17 e 18 na Mata Ciliar do Rio Lava Pés.



As parcelas instaladas nos remanescentes são parcelas permanentes, isto é, parcelas que foram instaladas e irão permanecer no local para possibilitar a realização do inventário florestal contínuo nas áreas. As mesmas foram instaladas para a realização de inventário florestal e as coletas de solo e de serapilheira foram realizadas em paralelo.

As coletas de solo e serapilheira foram realizadas simultaneamente entre os meses de setembro e dezembro de 2017, e, desta forma, foram coletadas amostras desde um mês com baixas precipitações até o início de intensas precipitações. Para a coleta de solo, cada parcela permanente de 20m x 100m foi subdividida em parcelas menores de 10m x 10m, fazendo com que cada uma das unidades amostrais possuía 20 sub parcelas. Para tornar aleatória a coleta do solo dentro da unidade amostral, foi realizado o sorteio de cinco diferentes sub parcelas para retirada de uma amostragem composta de cada, como definido por Husch (1972).

Dentro de cada parcela foram retiradas cinco amostras compostas de solo de cinco diferentes profundidades totalizando 25 amostras compostas por parcela. Cada amostra composta, que é proveniente de três amostras simples (Figura 4), foi retirada de cinco profundidades (0-20 cm; 20-40 cm; 40-60 cm; 60-80 cm; 80-100 cm), com cinco repetições semelhantes dentro da unidade amostral. As profundidades foram apresentadas ao longo dos resultados da seguinte forma: 1 (0-20 cm), 2 (20-40 cm), 3 (40-60 cm), 4 (60-80 cm) e 5 (80-100 cm) (Figura 5).

Figura 4 - Unidade amostral com dimensões de 20x100 m, com a divisão de vinte sub parcelas de coleta de solo e exemplificando os locais de coleta de 5 amostras compostas.

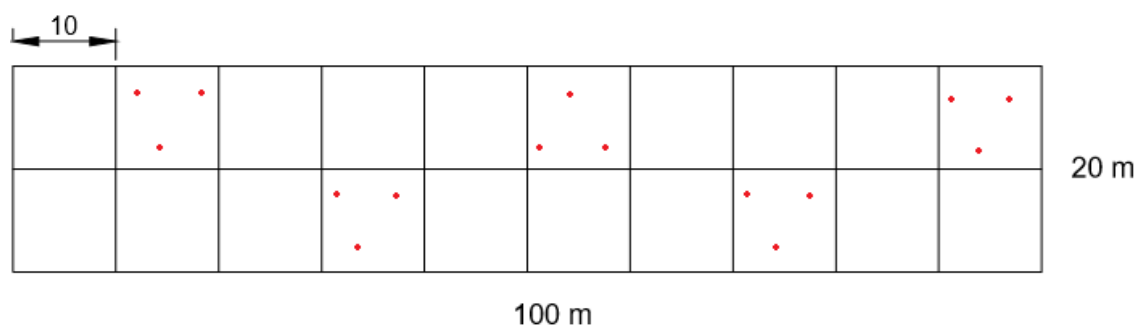
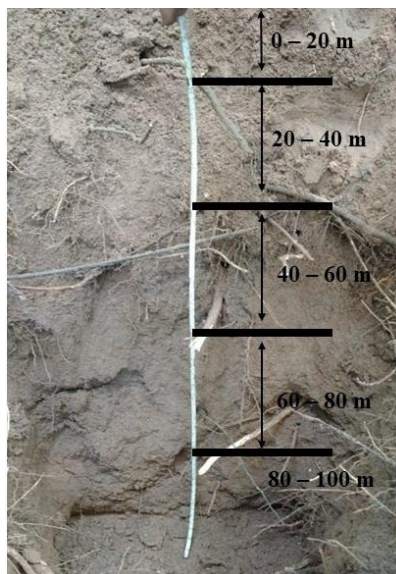


Figura 5 - Profundidades das amostragens de solo: 0-20 cm; 20-40 cm; 40-60 cm; 60-80 cm; 80-100 cm.



A coleta de solo foi realizada com o auxílio de um trado modificado marcado a cada 20 cm (Figura 6) entre os meses de agosto e dezembro. Ao final da coleta foram obtidas 90 amostras compostas de cada uma das profundidades entre as 18 parcelas, totalizando 450 amostras de solo. As amostras foram levadas para secar em estufa, passadas em peneiras de 2mm e posteriormente levadas a laboratório para análise.

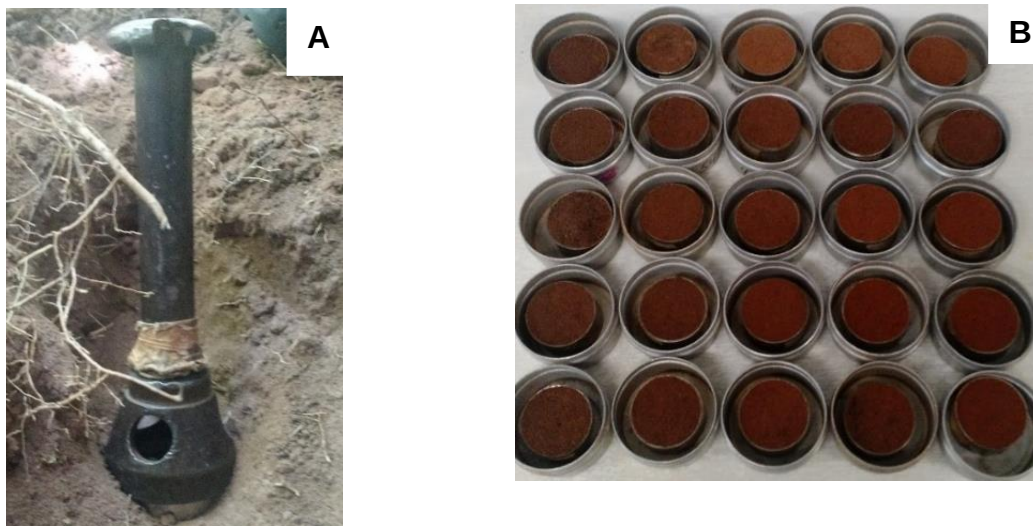
Figura 6 - Trado modificado utilizado para coleta das amostras de solo



Ainda na coleta de solos, foi realizada a coleta de amostras indeformadas com anéis volumétricos de 50 cm³ para análise de densidade (Figura 7). A coleta dos anéis indeformados foi realizada através da abertura de

perfis de solo de 1 m de profundidade, onde foram coletados anéis de densidade no intervalo de 20 centímetros nas cinco profundidades (0-20 cm; 20-40 cm; 40-60 cm; 60-80 cm; 80-100 cm). Ainda em campo, foi retirado o excesso de solo, até igualar as bordas do anel e os mesmos foram envoltos em uma proteção de alumínio resistente. Foram realizadas cinco coletas de densidade para cada uma das profundidades dentro nas 18 unidades amostrais, totalizando em 450 amostras indeformadas.

Figura 7 - A) Coleta de amostras indeformadas de solo; B) Anéis de densidade com amostras de solo indeformadas.



A serapilheira foi coletada com o auxílio de uma moldura de barbante com as dimensões de 50cm x 50cm (Figura 8). Em cada parcela permanente foram retiradas, de forma aleatória, cinco amostras de serapilheira e todo o material vegetal dentro dos limites da moldura foi coletado e devidamente acondicionado em sacos de papel e, posteriormente, levado para secar a 65 °C.

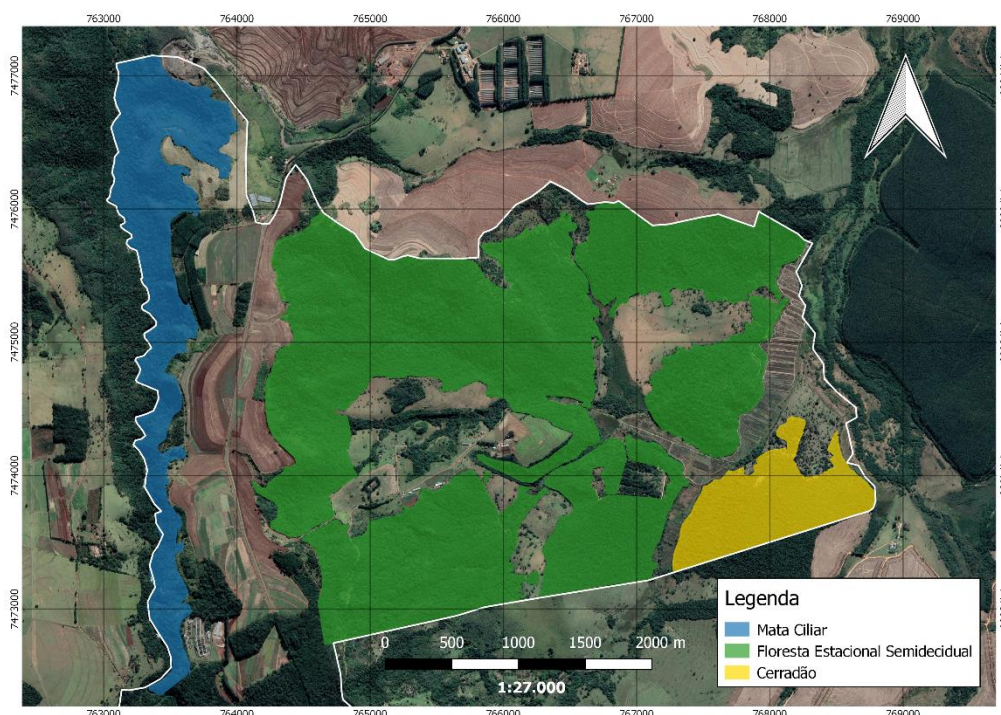
Figura 8 - Coleta de serapilheira com moldura de barbante



3.3 Definição das fisionomias e estado de conservação dos remanescentes

Baseando-se em aspectos estruturais e fitossociológicos da vegetação que estão informados em estudos já realizados nas Fazendas Edgardia e Lageado, foram definidas as fisionomias. Assim, a Floresta Estacional Semidecidual (FES) e as regiões de Mata Ciliar (MC) e transição para Cerradão (CRR) (Figura 9), foram definidas nos remanescentes por Ortega e Engel, (1992), Jorge e Sartori (2002) e Jorge e Pereira (2015) sendo citadas pelos estudos subsequentes a estes (NOGUEIRA JÚNIOR, 2010; JORGE et al., 2015; MACHADO, 2016;).

Figura 9 - Fisionomias dos remanescentes de vegetação nativa das Fazendas Edgardia, com a Floresta Estacional Semidecidual e Cerradão e a Fazenda Lageado com a Mata Ciliar



A definição do estado de conservação e de florestas primárias e secundárias foi feita, para este estudo, a partir de imagens de satélite, comparando as primeiras imagens disponíveis, do ano de 1984 em relação às imagens mais recentes. Houve também o embasamento nos estudos já citados que foram realizados em alguns dos remanescentes e que relataram os locais onde houve exploração de madeira, exploração de atividade pecuária ou agricultura. Assim, as áreas onde não havia vegetação nativa anteriormente foram classificadas como secundárias (FES2) e aquelas onde havia vegetação nativa foram classificadas como primárias (FES1).

Sendo assim, a classificação da vegetação das parcelas no remanescente da Fazenda Lageado ficou do seguinte modo: parcela 17 como Mata Ciliar secundária e nas parcelas 16 e 18 como Mata Ciliar primária (MC1). As parcelas 5, 6 e 9, foram classificadas como Floresta Estacional Semidecidual secundária (MC2) e as parcelas do remanescente classificado como Cerradão foram categorizadas como Florestas Secundárias, como avaliado por Jorge et al (2015).

A classificação entre floresta primária e secundária foi realizada através do histórico das fazendas, dos estudos já realizados na área e devido à perturbação da vegetação. Desta forma, as florestas classificadas como primárias entre os remanescentes são com o menor nível de perturbação, sem histórico de plantios de espécies agrícolas no século passado. As florestas definidas como secundárias foram as que apresentaram histórico de plantio ou exploração de madeira, e posterior regeneração da vegetação.

3.4 Avaliação das amostras

Para a análise química do solo as amostras de cada uma das camadas foram secas em estufa, destorroadas e passadas em peneiras de malha de 2 mm para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA) e, em seguida, submetidas a análise no Laboratório de Análise Química e de Fertilidade do Solo pertencente ao Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA/UNESP. Através do método de Walkey-Black, foi obtido o teor de Matéria Orgânica e Carbono do solo. A determinação do Carbono total e Nitrogênio total foi realizada através do CHN Analyzer (marca Perkin Elmer's), instrumento que determina a concentração de carbono, hidrogênio e nitrogênio de uma amostra simples através da combustão utilizando oxigênio que se combina com esses elementos formando CO_2 , NO e vapor de água (H_2O).

Foram obtidos também os valores de P_{resina} , Al, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn. Para análise do Fósforo foi utilizada a metodologia de Amer et al. (1955) denominada Resina, ou seja, ocorre a adsorção de P através de uma resina trocadora de ânions colocada em suspensão de solo em água. Para o Cobre, Ferro, Manganês e Zinco utilizou-se como extrator o Mehlich 1. Os nutrientes Potássio, Cálcio e Magnésio foram extraídos por Mehlich 3.

A metodologia utilizada pelo IPCC (2007) é a de Walkey-Black, baseando-se na premissa de que a matéria orgânica possui 58% de carbono orgânico, usando, dessa forma, o fator 1,724 para esta conversão. Portanto, a quantificação de carbono foi realizada tanto pelo método de determinação Walkey-Black quanto pelo método do CHN Analyser, utilizado no Programa Brasil Mata Viva.

Para a densidade, as amostras foram levadas para laboratório e secas por 24 horas em estufa a 105 °C. A mesma foi determinada conforme Embrapa (1997), através da utilização do anel volumétrico com capacidade interna conhecida. O volume do anel é determinado conforme Equação 1:

Equação 1: $V = \frac{\pi d^2}{4} * h$

Na qual:

V = Volume do cilindro;

d = Diâmetro do anel;

h = Altura do anel;

Após secos em estufa a 105 °C, os anéis de densidade foram pesados em balança de precisão onde se descontou o peso do anel obtendo a massa de solo contida nos mesmos. A partir disso, determinou-se a densidade (Ds) através da Equação 2:

Equação 2: $D_s = \frac{m}{V}$

Na qual,

Ds = Densidade de solo em g/cm³;

m = massa de solo seco, em gramas;

V = volume do anel, em cm³

Para a serapilheira foi realizada a análise do teor de carbono em material já seco em estufa e pesado em balança de precisão de 0,01g para aferição da Matéria Seca Total e, posteriormente, triturado em moinho. O teor de carbono da serapilheira foi determinado a partir da conversão da matéria seca total de serapilheira (em toneladas) utilizando-se o fator 0,5, de acordo com IPCC (2003) e utilizado por uma série de outros estudos (MACDICKEN, 1997; SOARES E OLIVEIRA, 2002; SILVEIRA, 2008; RIBEIRO et al, 2009; SILVA et al, 2015; RATUCHNE et al, 2016; BARBOSA et al, 2017; GIÁCOMO et al, 2017), conforme equação 3:

Equação 3: $C = M.S.T \times 0,5$

Em que,

C = Carbono, em toneladas

M.S.T = Matéria Seca Total, em toneladas

0,5 = fator de conversão do carbono presente na serapilheira.

Após a obtenção dos valores dos estoques totais de Carbono, o mesmo pode ser convertido em Carbono Equivalente CO₂ por meio do fator de conversão 3,67, que é obtido pela razão entre a massa molecular do dióxido de carbono (CO₂ = 44) e a massa atômica do carbono (C=12) (BROWN; LUGO; CHAPMAN, 1986).

Foi realizada também a análise de Carbono e Nitrogênio da serapilheira através do método de determinação com CHN Analyzer. A análise dos nutrientes foi realizada por digestão sulfúrica, sendo quantificadas as concentrações de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989).

3.5 Análises dos resultados

Os dados dos parâmetros foram avaliados por MANOVA, ou seja, um teste que avaliou a relação entre as diversas variáveis de resposta para o conjunto comum de preditores. Para comparação das variâncias dos parâmetros utilizados (Densidade, MO, pH, CTC, P, Al, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn, C e N) foram realizadas ANOSIN, análises de dados de similaridade, e posterior teste de comparação de Bray-Curtis para comparação entre as fisionomias e camadas avaliadas (MARTINS, 2017). O teste de Bray-Curtis consiste na utilização de uma proporção de similaridade ou dissimilaridade (distância) na abundância dos parâmetros, sendo que seus valores vão de 0 a 1. Para visualização dos parâmetros foram criados gráficos box-plot para a fertilidade do solo de cada fisionomia, assim como para os parâmetros diretamente relacionados à quantidade de carbono no solo.

Os dados dos parâmetros de solo foram comparados entre fisionomias e entre profundidades, através de análises multivariadas. As médias foram comparadas através do teste de Kruskal-Wallis, que é um teste não paramétrico normalmente utilizado para comparar estudos que apresentam várias populações, sendo usado para testar a hipótese alternativa de que duas ou mais populações

possuem distribuição diferentes contra a hipótese nula de que as populações estudadas tem distribuição iguais.

A comparação dos tipos de solo em relação aos parâmetros foi realizada através da Análise de Componentes Principais (PCA), uma análise de dados utilizados realizando uma escolha de formas mais representativas dos mesmos através da sua redução e eliminação de sobreposições, isso é feito através de combinações lineares das variáveis originais, permitindo que os dados fossem projetados a fim de identificar quais parâmetros influenciaram mais.

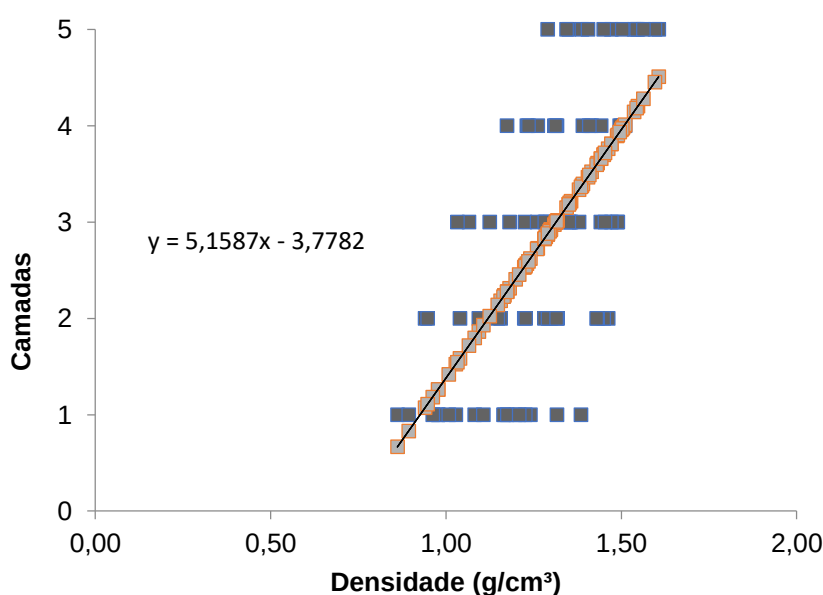
Para análise quantitativa posterior foram realizadas regressões múltiplas também com 95% de significância para comparar as camadas (0-20 cm; 20-40 cm; 40-60 cm; 60-80 cm; 80-100 cm) em relação aos parâmetros de solo (Densidade, MO, pH, CTC, P, Al, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn, C e N). Já para visualização da regressão foram utilizados gráficos com curvas dos parâmetros em relação aos tratamentos, observando o nível de significância de 95%.

4 RESULTADOS

4.1 Densidade do Solo

Observou-se um aumento da densidade média do solo ao longo das profundidades, como mostra a Figura 10, apresentando um aumento superior a 30% na variação da média de densidade da primeira para a última camada de solo.

Figura 10 - Variação de densidade do solo (g.cm^{-3}) a partir da análise de regressão, ao longo das camadas, visualizando a tendência de crescimento da camada 1 (0-20), 2 (20-40), 3 (40-60), 4 (60-80) e 5 (80-100)

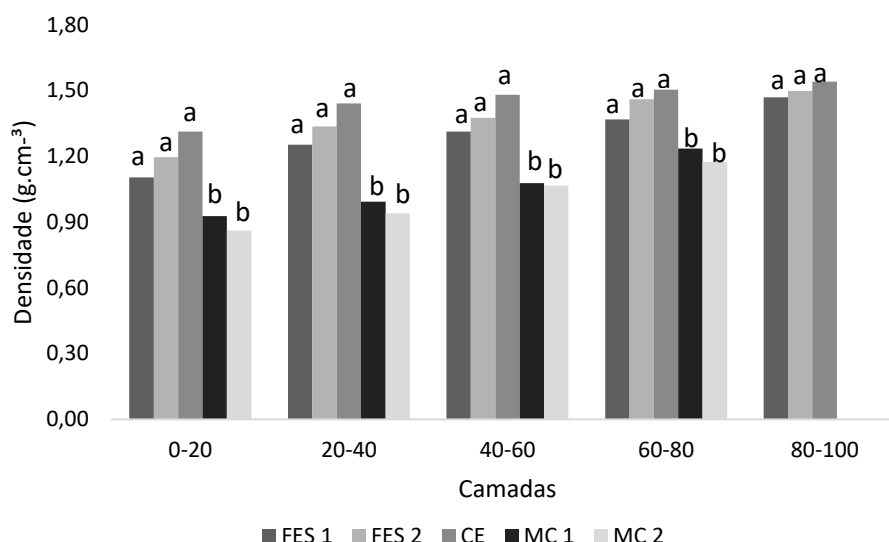


Na Figura 11 estão apresentadas as médias de densidade realizadas com todos os dados coletados por profundidade e por fisionomia. A comparação entre as densidades relacionadas às fisionomias dos remanescentes e suas profundidades não apresentou diferença significativa. Porém, é possível observar que o Cerrado apresentou valores de densidade média muito superiores às demais fisionomias, sendo em torno de 10% maior que a da Floresta Estacional Semidecidual e 40% maior que a da Mata Ciliar. Essa fisionomia apresentou densidade mínima de $1,31 \text{ g.cm}^{-3}$ na camada superficial de 0 a 20 centímetros e máxima de $1,54 \text{ g.cm}^{-3}$ na profundidade de 80 a 100 centímetros.

Em contrapartida, é possível visualizar que as menores densidades estão na fisionomia de Mata Ciliar do Rio Lavapés, onde os locais de mata secundária apresentaram um valor mínimo de $0,86 \text{ g.cm}^{-3}$ na primeira camada de solo e de

1,17 g.cm⁻³ na última camada estudada, de 60 a 80 centímetros. Essa fisionomia não apresenta médias de densidade e análise química do solo na última camada amostrada, devido à dificuldade de coleta de solo, uma vez que o solo é raso nessa área da Fazenda Lageado, apresentando formação rochosa, impossibilitando a coleta de solo com o trado, assim como a coleta dos anéis de densidade. Não houve, portanto, coleta de amostras para as camadas de 80 a 100 centímetros.

Figura 11 - Variação das médias de densidade do solo (g.cm⁻³) de 0 a 100 cm, em relação às fisionomias (FES1: Floresta Estacional Semidecidual Primária; FES2: Floresta Estacional Semidecidual Secundária; C: Cerrado; MC1: Mata Ciliar primária; MC2: Mata Ciliar secundária)

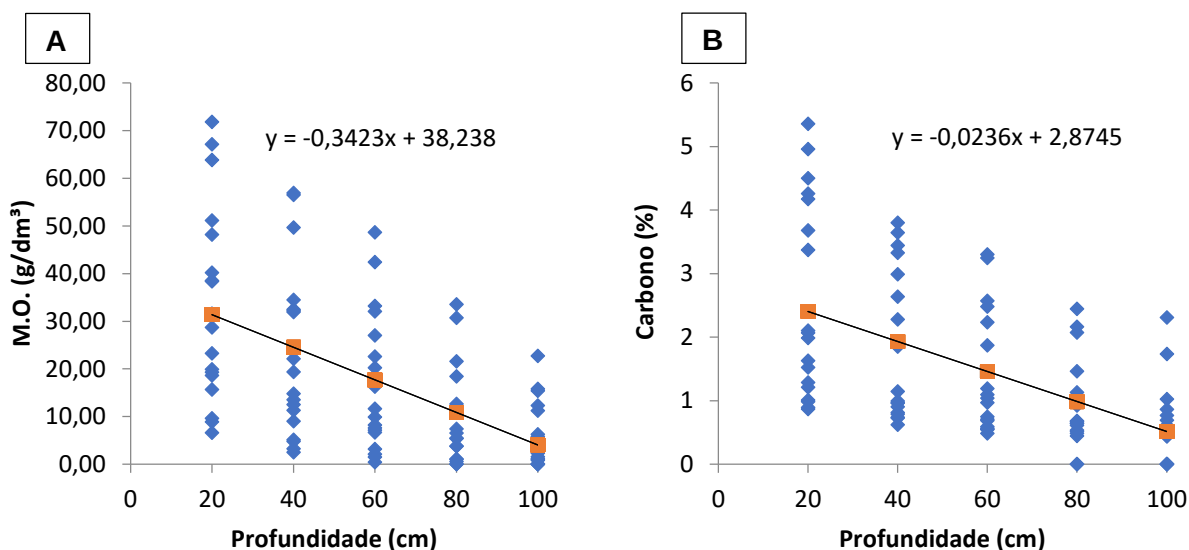


4.2 Estoque de Carbono no solo

Os teores de matéria orgânica do solo se mostraram inversamente proporcional à profundidade, ou seja, a profundidade de 80 a 100 centímetros se mostrou três vezes menor no teor de matéria orgânica quando comparada a primeira camada de 0 a 20 centímetros (Figura 12A).

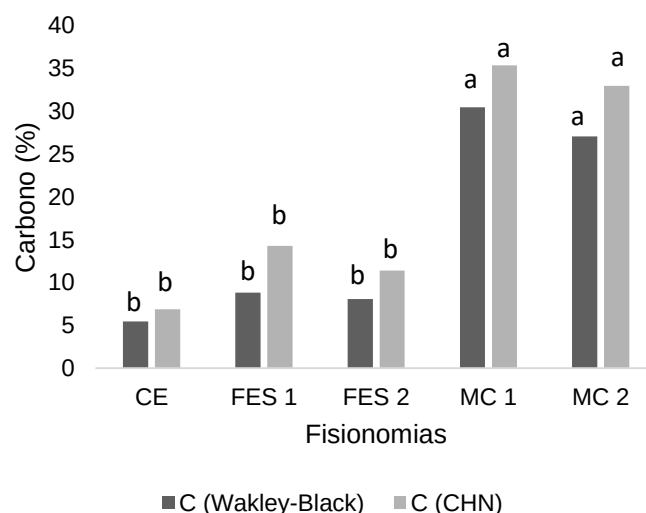
Assim como a matéria orgânica, as porcentagens de carbono quantificadas pela CHN Analyzer mostraram o mesmo padrão: em maiores profundidades do solo há um decréscimo de Carbono Orgânico (Figura 12B), sendo duas vezes superior na camada mais superficial de 0 a 20 em relação às camadas inferiores de 80 a 100.

Figura 12 - A) Comparação entre a quantidade de Matéria Orgânica média no solo em relação as profundidades estudadas; B) Comparação entre carbono médio quantificado pelo CHN Analyzer e as profundidades estudadas.



As fisionomias de Mata Ciliar primária e secundária apresentaram diferenças em relação às demais em relação ao carbono quantificado pelo método de Walkey-Black e por CHN (Figura 13). Essas fisionomias apresentaram quantidades muito elevadas desse elemento, sendo que para o CHN a Mata Ciliar primária chega a mais de 35% em relação às demais fisionomias amostradas. As Florestas Estacionais Semidecíduais primária e secundária e Cerrado não apresentaram diferença entre si para ambos os parâmetros. Essas fisionomias apresentaram quantidades de carbono aproximadas, sendo que a Floresta Estacional Semidecidual se mostrou superior. O Cerrado apresentou os menores níveis desse elemento, sendo que para o método de Walkey-Black o carbono no solo foi de 5%.

Figura 13 - Variação do teor de Carbono orgânico (Walkey-Black) e carbono total (CHN) entre as fisionomias (MC1: Mata Ciliar primária; MC2: Mata Ciliar secundária; FES1: Florestal Estacional Semidecidual Primária; FES2: Floresta Estacional Secundária; C: Cerrado). (Letra minúscula representa a comparação entre % de Carbono nas fisionomias).

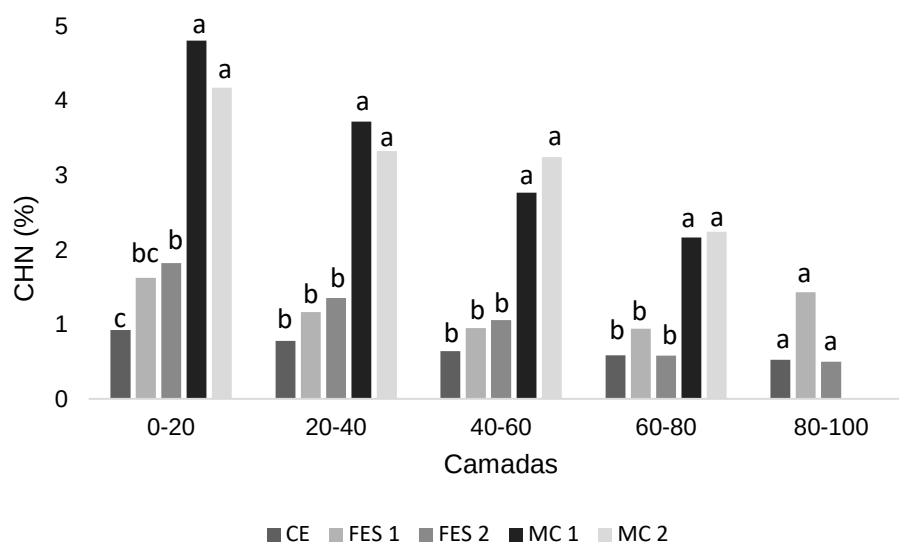


Ao comparar as duas metodologias de quantificação de carbono entre as camadas estudadas, temos que a quantificação através do CHN apresentou as seguintes porcentagens em relação ao carbono orgânico (Walkey-Black) para as fisionomias: no cerrado a quantificação pelo CHN aumentou em 26% a quantidade de carbono; para a floresta estacional semidecidual primária esse aumento foi de 62%; para a floresta estacional semidecidual secundária foi de 41%; a mata ciliar primária apresentou 16% a mais de carbono se quantificado pelo CHN analyser e a mata ciliar secundária apresentou 22% a mais. Na média, a diferença é de 33% a mais de carbono pelo método de CHN Analyzer.

A Figura 14 apresenta as variações das porcentagens de carbono orgânico entre as fisionomias por camada de solo. Observa-se um decréscimo das quantidades de carbono da primeira camada de solo (de 0 a 20 cm) para a última camada amostrada, de 80 a 100 cm. É possível observar que os níveis de carbono na fisionomia de Mata Ciliar, tanto primária quanto secundária, são muito superiores aos das demais fisionomias até os 80 centímetros, não havendo a possibilidade da retirada de amostras abaixo dessa profundidade para essas fisionomias, como observado anteriormente.

Figura 14 - Variação de Carbono Total do solo entre as fisionomias, quantificado pelo CHN Analyzer. (MC1: Mata Ciliar primária; MC2: Mata Ciliar

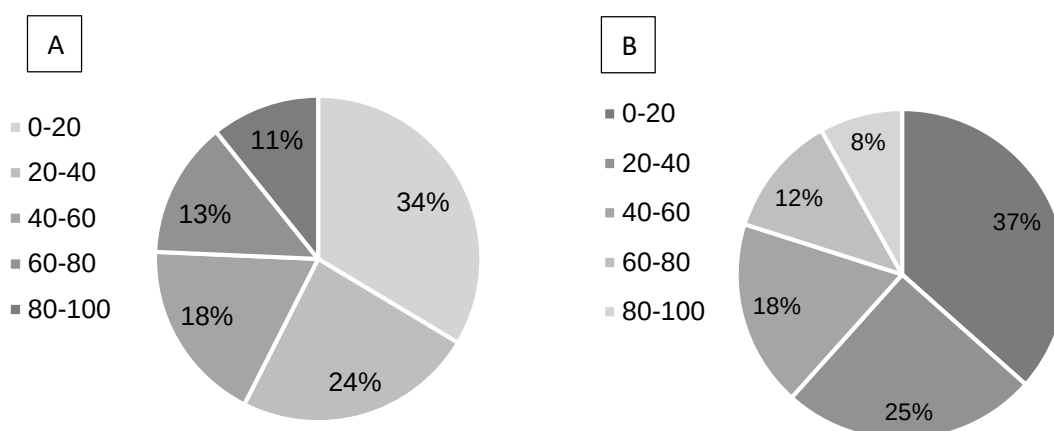
secundária; FES1: Florestal Estacional Semidecidual Primária; FES2: Floresta Estacional Secundária; C: Cerrado)



A metodologia de Walkey-Black apresentou o valor médio de 125,63 t.ha⁻¹ de carbono até 1 m de profundidade. Quando consideradas as profundidades em relação ao teor de matéria orgânica e carbono orgânico, foi encontrado que 62% de ambos são encontrados nos primeiros 40 centímetros de solo, enquanto que os 38% restantes estão presentes nas três últimas camadas de solo amostradas, de 40 a 100 cm. As camadas superficiais do solo (0 a 40 cm) apresentaram 71,31 t.ha⁻¹, enquanto que as superfícies mais profundas, de 40 a 100 cm, apresentaram uma média de 55,57 t.ha⁻¹ de carbono orgânico (Walkey-Black) no solo.

O carbono amostrado pelo CHN Analyser apresentou valores semelhantes, sendo que os 40 centímetros superficiais do solo apresentaram 58% de todo carbono orgânico encontrado (Figura 15a), com a primeira camada de 0 a 20 centímetros estoca 34% de todo o carbono estimado. Quando analisado a quantificação através da metodologia de Walkey-Black, é possível verificar uma pequena variação entre as quantificações, com a camada de 0 a 20 cm apresentando 37% do carbono presente no solo (Figura 15b). As camadas superficiais do solo, de 0 a 40 centímetros, apresentaram uma média de 95,96 t.ha⁻¹ enquanto as camadas mais profundas, de 40 a 100 cm apresentaram uma média de 87,13 t.ha⁻¹. Desta forma, temos que a quantificação de carbono pelo CHN analyser apresentou, em média, 180,87 t.ha⁻¹ de carbono no solo em até um metro para as Fazendas Lageado e Edgardia.

Figura 15 - A) Valores em porcentagem de Carbono no Solo, quantificado pelo CHN Analyser, nas camadas de solo estudadas (até 100 cm); B) Valores em porcentagem de Carbono no Solo, quantificado pelo método de Walkey-Black, nas camadas de solo estudadas (até 100 cm).



A Figura 15 apresenta uma pequena variação da quantidade de carbono entre as profundidades quando quantificado com as diferentes metodologias, a metodologia de Walkey-Black, por quantificar apenas o carbono orgânico presente no solo apresentou maiores quantidades de carbono nas camadas iniciais. Já a metodologia de quantificação por CHN analyser, por quantificar todo o carbono presente, apresentou a proporção com mais carbono nas maiores profundidades.

A Tabela 1 apresenta as médias de carbono orgânico (Walkey-Black) e carbono total (CHN) para cada fisionomia em relação às camadas e entre fisionomias. Para os parâmetro de carbono, é possível observar que a fisionomia de Cerradão em sua primeira camada (0 - 20 cm) apresentou diferença entre as fisionomias de Mata Ciliar, mas não entre as Florestas Estacionais Semidecíduais, sendo que o Cerradão apresentou um teor de carbono muito inferior a MC1 e MC2. Para as demais profundidades, a Mata Ciliar primária e secundária apresenta diferença quando comparada com as Florestas Estacionais, apresentando média superior. Esse padrão é percebido em todas as profundidades, quando comparadas entre fisionomias, para a metodologia de Walkey-Black.

Ao analisar a quantificação realizada por CHN analyser, é possível notar que o Cerradão apresenta diferença significativa de todas as demais fisionomias para as primeiras camadas de solo (0 – 60 cm), da mesma forma que FES 1 e 2 se apresenta diferente de MC 1 e 2.

A Mata Ciliar Primária apresentou valores elevados de carbono da primeira camada de solo (0 - 20 cm) até a última camada amostrada nesta fisionomia (60 - 80 cm). Esses valores elevados não são observados no Cerrado, onde a primeira camada (0 - 20) apresenta valores quatro vezes menores que na mesma camada da fisionomia de Mata Ciliar. A FES apresenta valores intermediários entre as fisionomias anteriormente citadas. Entre mata primária e mata secundária da FES, mesmo não apresentando diferença, as primeiras camadas do solo em Floresta Estacional Semidecidual primária apresentam valores 30% maiores que as primeiras camadas de Floresta Estacional Semidecidual secundária.

Ao comparar as profundidades entre as fisionomias, temos que somente a primeira camada da FES1 apresentou diferença em relação aos demais na metodologia de Walkey-Black, na metodologia de CHN analyser as camadas de solo de 0 - 20, 20 - 40 e 40 - 60 apresentam diferença significativa entre si, não diferenciando somente entre 60 - 100 cm. Na FES2, a primeira camada (0 - 20 cm) apresenta diferença com as demais, de 20 a 60 centímetros não apresentaram diferença entre si, mas se mostraram diferentes da camada de 80 a 100 cm para carbono orgânico (Walkey-Black). O mesmo padrão ocorre para Mata Ciliar primária, em que as duas primeiras camadas de solo diferem dos últimos 40 centímetros amostrados nesta fisionomia para ambas as metodologias. A Mata Ciliar secundária apresentou diferença entre a camada superficial (0 - 20 cm) em relação as demais, para carbono orgânico (Walkey-Black), a quantificação realizada por CHN analyser apresentou diferença somente na última camada de solo, de 60 a 80 centímetros. A fisionomia de Cerradão apresenta maior quantidade de carbono na primeira camada, única que apresentou diferença em relação as demais, com a metodologia de Walkey-Black, enquanto que com CHN analyser as camadas de 0 a 60 não apresentaram diferença significativa entre si, diferenciando somente das camadas de 60 a 100 cm.

Tabela 1- Teores de carbono no solo calculado pelas diferentes metodologias de quantificação de carbono – Wlakey-Black e CHN - (em relação a amostra utilizada para a análise) no solo entre as fisionomias e entre as camadas. (Letra maiúscula: comparação entre fisionomias; letra minúscula: comparação entre camadas).

Veg. Fragmento	Camadas	C (Walkey-Black) %	C (CHN) %
Floresta Estacional Semidecidual Primária (FES1)	0-20	1,63 a B	2,48 a B
	20-40	1,03 b B	1,62 b B
	40-60	0,73 b B	1,17 c B
	60-80	0,52 b B	0,95 d B
	80-100	0,49 b B	0,94 d A
A Floresta Estacional Semidecidual Secundária (FES2)	0-20	1,57 a B	1,82 a B
	20-40	0,97 b B	1,35 a B
	40-60	0,66 b B	1,05 b B
	60-80	0,24 c B	0,58 c B
	80-100	0,19 c C	0,50 d B
Mata Ciliar Primária (MC1)	0-20	4,02 a A	4,81 a A
	20-40	3,29 a A	3,72 a A
	40-60	2,37 b A	2,77 b A
	60-80	1,94 b A	2,16 b A
Mata Ciliar Secundária (MC2)	0-20	3,70 a A	4,17 a A
	20-40	2,87 b A	3,33 a A
	40-60	2,45 b A	3,24 a A
	60-80	1,78 b A	2,44 b A
Cerradão ©	0-20	1,01 a B	0,92 a C
	20-40	0,62 b B	0,78 a C
	40-60	0,42 b B	0,64 a C
	60-80	0,35 b B	0,58 b B
	80-100	0,33 b B	0,52 b B

A Tabela 2 apresenta os valores de carbono em toneladas por hectare para cada fisionomia e seu status de preservação, diferenciando entre as metodologias de quantificação de carbono realizadas. Observa-se que a quantificação através do CHN analyser apresentou em torno de 44% a mais de carbono nas fisionomias até 1 metro de solo em relação a quantificação através da metodologia de Walkey-Black. A Tabela 3 apresenta, também, a quantificação de CO₂equivalente, utilizado para a conversão para UCS (Unidade de Crédito de sustentabilidade), em que 1 UCS é equivalente a 1 tonelada de CO₂equivalente que por sua vez equivale 1 crédito de floresta. Portanto, temos que as fazendas da FCA estocaram 663,80 créditos de floresta no solo se quantificada através do CHN analyser, e 461,06 créditos de floresta se quantificado através da metodologia de Walkley-Black.

Tabela 2 - Quantificação de carbono do solo em toneladas por hectare para cada fisionomia estudada com as diferentes metodologias realizadas para quantificação de carbono.

Estoque de carbono total dos solos dos remanescentes de vegetação nativa da FCA					
	Método CNH		Método Walkey-Black		≠
Fisionomias	Total C t/ha	CO₂equivalente	Total C t/ha	CO₂equivalente	CO₂equivalente
Mata Ciliar Primária	300,20	1101,74	254,51	934,06	> 19,95%
Mata Ciliar Secundária	297,38	1091,39	243,09	892,16	> 22,33%
Floresta Estacional Semidecidual Primária	177,83	652,65	109,30	401,15	> 62,69%
Floresta Estacional Semidecidual Secundária	127,09	466,42	86,99	319,24	> 46,10%
Cerrado	99,15	363,89	77,61	284,84	> 27,75%
Média Total (t/ha)	180,87	663,80	125,63	461,06	> 43,97%

4.3 Fertilidade do solo

Os nutrientes do solo que apresentaram diferenças ($p \leq 0,05$) nos teores em relação às fisionomias de Floresta Estacional Semidecidual, Mata Ciliar e Cerradão foram fósforo (P), ferro (Fe), boro (B), enxofre (S), alumínio (Al), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn). A fisionomia de Cerrado se destacou no teor de alumínio, onde apresentou uma média de $11,40 \text{ mmolc.dm}^{-3}$, enquanto que as áreas de Mata Ciliar apresentaram médias de $0,22 \text{ mmolc.dm}^{-3}$. Houve destaque também para os teores de manganês (Mn), cálcio (Ca), cobre (Cu), boro (B), magnésio (Mg) e potássio (K) nesta fisionomia, apresentando valores baixíssimos desses nutrientes em relação às demais fisionomias (Tabela 3).

Tabela 3 - Relação de nutrientes do solo entre as fisionomias e entre profundidades presentes nas Fazendas Lageado e Edgardia.

Floresta Estacional Semidecidual Primária													
Prof.	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	N (CHN)
0-20	28,22a	30,17a	0,53d	3,01a	74,35a	17,80a	11,21a	0,47a	2,37b	54,71a	35,25a	9,32a	0,40a
20-40	17,72b	22,71b	1,40c	1,71b	61,37a	15,28b	10,64b	0,34b	2,83b	55,53a	30,81b	8,28a	0,31b
40-60	12,70c	23,17b	2,18b	1,38b	55,30a	14,95c	8,00c	0,27c	3,27a	49,29a	23,88c	7,35b	0,27b
60-80	9,00d	21,11b	3,35a	1,34b	54,65a	15,56b	8,67d	0,25d	3,68a	40,95b	19,57d	9,55a	0,31b
80-100	8,61d	31,07a	3,79a	1,44c	53,09a	16,29a	9,83b	0,25d	3,75a	38,94b	15,71e	9,98a	0,26b
Floresta Estacional Semidecidual Secundária													
Prof.	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	N (CHN)
0-20	27,12a	60,17a	1,87d	1,95a	65,26a	18,46a	10,86a	0,36a	1,58b	97,84a	26,38a	6,14b	0,38a
20-40	16,83b	42,44b	3,38a	1,18b	55,60a	16,36a	11,11a	0,29a	1,72b	95,53a	21,54b	6,22a	0,29a
40-60	11,52c	45,01b	4,39a	0,89c	50,06a	15,13b	9,08a	0,26a	1,92a	81,59a	20,21b	5,32b	0,27b
60-80	4,20d	21,66c	7,13c	0,68c	29,40b	8,40c	6,32b	0,22a	1,98a	51,28b	15,69b	6,73a	0,25c
80-100	3,31e	23,68c	8,60b	0,72bc	32,22b	8,91c	5,51b	0,22a	1,93a	51,87b	11,70c	7,78a	0,22d
Mata Ciliar Primária													
Prof.	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	N (CHN)
0-20	69,47a	64,24b	0,17b	2,45a	116,25a	28,50a	17,50a	0,55a	4,77c	78,71a	86,45a	10,21a	0,53a
20-40	56,73a	69,21a	0,16b	2,27b	113,88a	28,85a	15,35a	0,37b	5,69b	76,68a	85,64a	14,50b	0,45a
40-60	40,90b	64,86b	0,22c	2,20c	111,27b	27,94b	13,87b	0,30b	5,96a	67,85b	75,45c	17,43c	0,35b
60-80	33,51c	42,98c	0,63a	1,93d	89,82c	28,97b	13,14b	0,26b	5,31b	33,20c	81,64b	12,19a	0,43c
Mata Ciliar Secundária													
Prof.	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	N (CHN)
0-20	63,84a	72,07a	0,00c	5,91b	104,52a	26,26a	12,29a	0,76a	10,01a	37,36a	74,31a	19,63a	0,522a
20-40	49,65b	61,98b	0,16b	6,43a	100,25a	24,78a	12,89a	0,63b	10,00a	34,68a	61,35b	17,73a	0,41b
40-60	42,37b	55,52b	0,11b	6,35a	94,09b	22,72b	10,22b	0,62b	9,15a	25,94b	58,68b	13,66b	0,464a
60-80	30,73c	45,35c	0,37a	6,30a	78,21c	19,65c	12,56a	0,42c	7,76b	21,91b	45,33c	11,05b	0,436a
Cerrado													
Prof.	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	N (CHN)
0-20	17,48a	6,16a	9,79b	1,03a	5,43a	3,33a	7,73a	0,29a	0,55a	137,49a	11,79a	4,65b	0,19a
20-40	10,76b	3,28b	11,44a	0,64a	3,62b	1,32b	8,16a	0,22b	0,46b	96,19b	3,82b	4,41b	0,17a
40-60	7,36c	2,35b	12,06a	0,25b	2,41c	0,95c	6,70b	0,19b	0,41b	45,70c	2,22c	5,20a	0,16a
60-80	6,00c	2,31b	11,30a	0,20b	2,41c	0,86c	6,10b	0,20b	0,37b	34,32d	1,80c	5,75a	0,17a
80-100	5,64c	2,31b	12,38a	0,18b	2,41c	0,89c	5,04c	0,20b	0,35b	36,80d	1,57c	5,12a	0,15a

É possível perceber uma relação inversa entre o Cerrado e a Mata Ciliar primária no que diz respeito aos nutrientes presentes no solo (Tabela 4). O estado de conservação entre a vegetação primária e secundária também apresentou

diferenças entre os nutrientes dos solos. Desta forma é possível comprovar que os remanescentes apresentam diferentes fisionomias quando levado em consideração as características dos solos dos mesmos.

A Figura 16 apresenta a análise de PCA (análise de componentes principais), descrita no item 3.5, com os tipos de solo das parcelas em relação a todos aos diversos parâmetros analisados. Os vetores apresentam os parâmetros dos solos, o tamanho do vetor e o sentido do mesmo aponta a sua relação com o tipo de solo. Desta forma, os solos se agrupam separadamente, mostrando que diversos parâmetros estudados foram necessários para caracterizar aquele tipo de solo. A análise de PCA demonstrou que parâmetros como a acidez potencial ($H+Al$) e a acidez trocável (Al^{3+}) caracterizam os Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Litólicos (AQa3)), uma vez que os mesmos estão agrupados no segundo quadrante do plano cartesiano. Esses solos estão presentes nas parcelas 11, 10 e 05, respectivamente, sendo de fisionomias de Cerradão (10 e 11) e Floresta Estacional Semidecidual secundária (5).

A parcela 8 também apresenta Neossolos Quartzarênicos, sendo que este se concentrou tanto no segundo quadrante da PCA, quanto no terceiro quadrante, tendo a densidade e profundidade como características que também definiram este tipo de solo. Outros parâmetros, como Ferro (Fe) e CTC, apresentaram importância na caracterização do solo da parcela 6 com Chernossolos, algumas manchas de Vertissolo e Cambissolo, sendo que este se concentrou no primeiro quadrante da PCA. Os solos das parcelas 4, 7, 9 e 14, se concentraram no terceiro quadrante, onde, assim como os solos da parcela 6, foram caracterizados principalmente pela diferença entre a densidade dos mesmos. Os solos da Mata Ciliar, parcelas 16, 17 e 18, os Neossolos Litólicos, se concentraram no quarto quadrante da PCA, sendo os solos mais férteis.

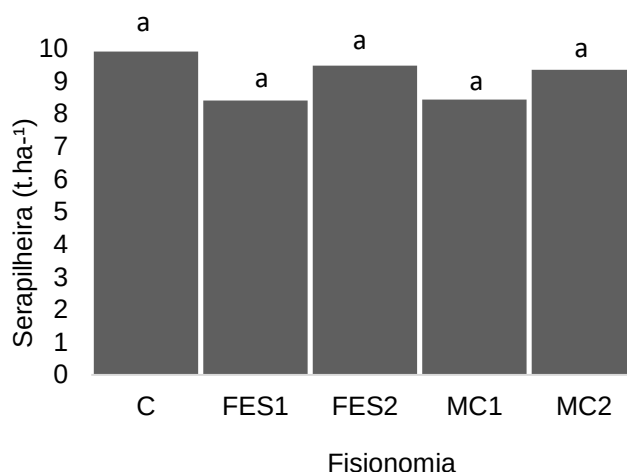
As parcelas 1, 2, 3, 12 e 13 apresentaram Neossolo Litólico com manchas de Cambissolo, encontrados em todos os quadrantes da PCA, as quais possuem floresta primária, possuindo características semelhantes. Porém, os mesmos se agrupam em maior número no primeiro e quarto quadrantes, sendo caracterizados por serem solos de alta CTC e com alta fertilidade.

Tabela 4 - Nutrientes presentes na serapilheira diferenciado por cada remanescente de vegetação nativa das Fazendas Lageado e Edgardia, UNESP – Botucatu, SP.

Veg. Fragmento	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	%	g/dm ³	mmol/dm ³		----- mg/dm ³ -----						
C	1,76 b	0,89 b	1,72 c	8,42 b	2,4 b	0,89 a	28,22 d	11,4 c	1228 d	1072 a	33,00 b
FES1	1,95 a	0,81 b	3,62 a	22,19 a	3,5 a	0,92 a	38,13 b	25,42 b	3122 b	326 b	38,64 b
FES2	1,73 b	0,53 b	3,35 a	20,73 a	2,68 b	0,89 a	24,22 d	24,00 b	2251 c	224 c	44,47 a
MC1	1,87 a	1,29 a	2,54 b	21,5 a	3,71 a	0,94 a	30,05 c	23,2 b	6200 a	325 b	44,6 a
MC2	1,66 b	0,90 b	4,00 a	22,04 a	4,04 a	0,97 a	47,79 a	31,4 a	6936 a	213 c	44,4 a

A Figura 17 apresenta as médias de matéria seca total da serapilheira, expondo a variação entre as fisionomias. A fisionomias não apresentaram diferença significativa entre os pesos secos, porém, é possível observar que a fisionomia com características de Cerrado apresentou amostras com valores elevados de matéria seca e que as florestas primárias, tanto de Floresta Estacional Semidecidual quanto de Mata Ciliar, apresentaram menores valores de matéria seca total em relação quando comparadas às florestas secundárias.

Figura 17 - Matéria Seca de serapilheira nas fisionomias MC1 (Mata Ciliar primária), MC2 (Mata Ciliar secundária), FES1 (Floresta Estacional Semidecidual Primária), FES2 (Floresta Estacional Secundária), C (Cerrado).



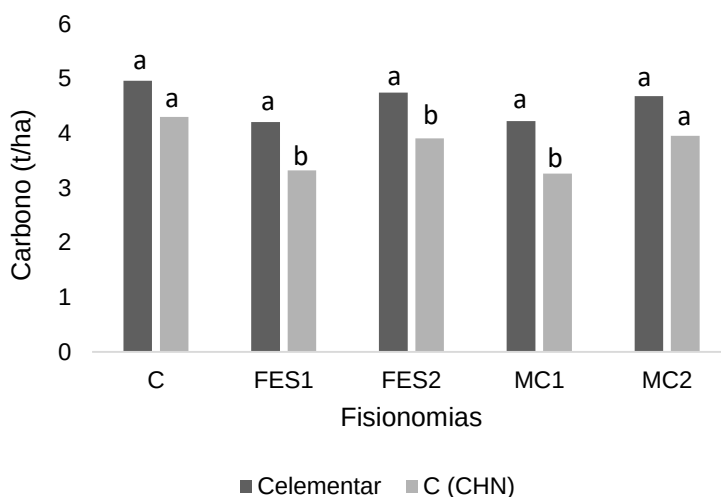
A produção média de serapilheira para a área total foi estimada em 9,12 t.ha⁻¹. A produção de serapilheira entre as fisionomias variou de 8,41 t.ha⁻¹ na FES1 a 9,91 t.ha⁻¹ no cerrado. O C da serapilheira, obtido através da metodologia em que se considera que 50% do peso seco é carbono na serapilheira (IPCC, 2003), apresentou 4,2 t.ha⁻¹ na FES1 e MC1, 4,7 t.ha⁻¹ na MC2 e FES2 e 4,96 t.ha⁻¹ no Cerrado, com uma média de 4,56 t.ha⁻¹ de C nos remanescentes de vegetação

nativa. A avaliação do CO₂ equivalente apresentou, em média, 16,74 t.ha⁻¹ de CO₂ equivalente.

A quantificação de carbono realizado pelo CHN Analyzer apresentou o mesmo padrão, onde a média no cerrado apresentou maiores valores e a média na mata ciliar primária apresentou valores inferiores. A Mata Ciliar primária apresentou medias significativamente diferentes de Cerradão e de Floresta Estacional Semidecidual (1^a e 2^a), não apresentando diferença somente quando comparada à Mata Ciliar secundária. Portanto, o carbono presente na serapilheira dessa fisionomia é de fato menor quando comparadas às demais.

Os valores obtidos através da quantificação do carbono orgânico pelo CHN Analyzer foram extrapolados para hectares, apresentando, em média, 3,75 t.ha⁻¹, sendo 22% inferior ao encontrado através da metodologia de quantificação através do peso seco da serapilheira, como mostra a Figura 18.

Figura 18 - Diferença entre médias de quantificação de Carbono pelo método do IPCC (2003) e carbono quantificado pelo CHN *analyser* em cada fisionomia estudada.



Ao comparar as metodologias de quantificação de carbono, CHN e quantificação através do peso seco da serapilheira, temos que a quantificação por CHN apresenta aproximadamente 20% a menos de carbono. Ao considerar que há em torno de 50% de carbono no peso seco da serapilheira, essa consideração superestima o carbono. Portanto, seguindo a metodologia de quantificação de

carbono pelo método de CHN, temos que a serapilheira apresenta, em média, em torno de 38% de Carbono.

A Tabela 5 apresenta os valores de carbono em toneladas por hectare para cada fisionomia, assim como o seu status de preservação, diferenciando entre as metodologias de quantificação de carbono realizadas. É apresentado que a quantificação através da metodologia do IPCC (2003) em que considera-se que há 50% de carbono na serapilheira, a mesma apresentou em torno de 22% a mais de carbono nas fisionomias até 1 metro de solo em relação a quantificação através da metodologia de CHN. A Tabela 5 apresenta, também, a quantificação de CO₂equivalente, utilizado para a conversão para UCS (Unidade de Crédito de sustentabilidade), em que 1 UCS é equivalente a 1 tonelada de CO₂equivalente que por sua vez equivale 1 crédito de floresta. Portanto, temos que as fazendas da FCA estocaram 13,75 créditos de floresta no solo por hectare, se quantificada através do CHN analyser, e 16,74 créditos de floresta no solo por hectare, se quantificado através da metodologia do IPCC (2003).

Tabela 5 - Quantificação de carbono em toneladas por hectare para cada fisionomia estudada com as diferentes metodologias realizadas para quantificação de carbono na serapilheira.

Estoque de carbono total na serrapilheira dos remanescentes de vegetação nativa da FCA					
Fisionomias	Método CNH		Método Walkey-Black		≠ CO₂equivalente (CHN X Walkey-Black)
	Total C t/ha	CO₂equivalente	Total C t/ha	CO₂equivalente	
Mata Ciliar Primária	3,26	11,96	4,22	15,49	< 29%
Mata Ciliar Secundária	3,95	14,51	4,68	17,18	< 18%
Floresta Estacional Semidecidual Primária	3,32	12,17	4,21	15,43	< 27%
Floresta Estacional Semidecidual Secundária	3,90	14,33	4,74	17,40	< 21%
Cerrado	4,30	15,77	4,96	18,20	< 15%
Média Total (t/ha)	3,75	13,75	4,56	16,74	< 22%

5 DISCUSSÃO

O fragmento florestal com fisionomia de Cerrado, apresentou menor fertilidade em relação aos demais solos, esse fragmento apresentou grande concentração de Al^{3+} , com concentração residual de cátions trocáveis de caráter ácido e com a remoção dos cátions trocáveis de caráter básico (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} e Na^{+}), sendo considerados os valores encontrados para esse fragmento como baixo (RAIJ, 1991 e CHAVES; TITTO; CHAVES, 2004). Portanto, o solo dos fragmentos de Cerrado apresentam-se ácidos, com baixa disponibilidade de nutrientes, altos valores de ferro e elevada saturação por Al^{3+} .

O Cerrado apresenta uma exuberante floresta, com uma alta demanda nutricional, isso entra em contradição com a baixa disponibilidade de nutrientes destes solos, essa demanda é suprida em sua maior parte pela deposição da serapilheira serapilheira que realiza a ciclagem de nutrientes (LIMA et al, 2018), que apresenta os maiores valores de serapilheira em toneladas por hectare. Esse comportamento também é visualizado na figura 12, onde os solos das parcelas 10 e 11 (parcelas do fragmento de cerrado) estão agrupadas no segundo quadrante do plano, sendo caracterizados pela presença de altas concentrações de alumínio trocável e acidez potencial.

Em contrapartida ao fragmento de cerrado, a Fazenda Lageado, que apresenta somente áreas de Mata Ciliar, apresentaram os maiores valores de matéria orgânica, sendo que esta é um importante indicador da fertilidade, uma vez que a mesma está relacionada com a capacidade de trocas catiônicas (CTC), teores de nitrogênio e outros nutrientes. Desta forma, as áreas de Mata Ciliar apresentaram valores altos de macro e micronutrientes como cálcio, potássio, zinco, magnésio, boro, enxofre, manganês e cobre. As áreas de Floresta Estacional Semidecidual apresentaram valores intermediários a essas duas fisionomias, sendo que as áreas de floresta secundária, ou seja, com indicadores de perturbação que anteriormente encontravam plantios agrícolas no local, apresentaram solos com maior teor de Al^{3+} e ferro e menor teor de nutrientes como cálcio e potássio, apresentando valores semelhantes, em muitos dos casos, com o fragmento de cerrado.

Os solos de florestas tropicais tem como tendência natural apresentarem uma forma mais ácida, isso se deve, principalmente, devido a mineralização da matéria orgânica. Desta forma, essa acidez compromete a disponibilidade de nutrientes sendo a matéria orgânica produtora de ácidos orgânicos que quelatizam elementos e quando os mesmos estão em concentrações muito elevadas, podem se tornar tóxicos. Porém, essa mesma mineralização que é responsável pela reação mais ácida dos solos florestais, também responde pela disponibilidade de nutrientes por meio da ciclagem, proporcionada pela mineralização. Assim, é possível concluir que os sistemas em equilíbrio natural apresentam seus meios para harmonizar as condições em que se encontram (LIMA et al, 2018).

Mesmo com a existência de uma série de informações dos teores de matéria orgânica no solo e também de carbono, a avaliação do estoque de carbono por área é uma atividade de difícil execução devido à falta de informações como a profundidade e densidade do solo, uma vez que é realizada apenas nas porções superficiais, representando somente parte do estoque de carbono (BRITTEZ, 2006).

Os solos nas formações florestais encontradas neste estudo apresentam padrões semelhantes a diversos outros estudos, como os de Ruffino (2010) e Ruggiero (2013), em que as médias de densidade aumentam com o aumento da profundidade do solo, assim como a quantidade de carbono orgânico estocado no solo diminui. Não somente para a densidade de uma forma geral, mas para as florestas secundárias, este estudo apresentou valores de densidade superiores às florestas primárias de mesma fisionomia, como mostra Nogueira Júnior (2010), uma vez que a densidade do solo e a porosidade podem sofrer efeitos do desenvolvimento florestal para as florestas secundárias. Essas áreas sofrem influência das atividades realizadas anteriormente à regeneração, ainda sendo afetadas pelo pisoteio animal e de seres humanos que ali adentravam para exploração de madeira.

Áreas que já apresentaram cultivo agrícola ou pastagem possuem menos carbono e maiores densidades que solos sob floresta sem perturbação, uma vez que a retirada da vegetação diminui a matéria orgânica disponível para a decomposição (BATJES et al, 1997). Sem a proteção da camada orgânica proveniente da vegetação, o solo também passará a emitir o carbono armazenado

além do carbono que já é naturalmente emitido, diminuindo substancialmente suas reservas, inclusive em profundidade (FEARNSIDE, 2010)

Segundo Lal (2006), a densidade aparente do solo é definida como a razão entre a massa do sólido do solo e o volume total. Fonseca et al. (1993) afirmam que a densidade do solo aumenta com a profundidade, uma vez que há a pressão exercida pelas camadas superiores sobre as seguintes, favorecendo a compactação natural. Como nos resultados encontrados neste estudo referente aos teores de matéria orgânica, carbono orgânico e profundidade do solo, Ruggiero (2013) também observou o padrão com os teores de carbono que foram influenciados pela profundidade com decréscimo dos valores das camadas superiores às mais profundas. O mesmo autor encontrou em um remanescente de cerrado sentido restrito, no município de Botucatu, uma variação de densidade entre $1,36 \text{ g.cm}^{-3}$ nas camadas superficiais (0 - 20 cm) a $1,43 \text{ g.cm}^{-3}$ nas camadas mais profundas (80 - 100 cm). Ruffino (2010), encontrou para um fragmento de Cerrado, no mesmo município deste estudo, densidades de $1,34$ a $1,43 \text{ g cm}^{-3}$, nas profundidades de 0 a 60 cm, respectivamente, valores semelhantes aos encontrados neste estudo (variação de $1,31 \text{ g.cm}^{-3}$ a $1,54 \text{ g.cm}^{-3}$).

Fonseca et al. (1993) apontam que o carbono orgânico do solo varia segundo o tipo de cobertura vegetal e decresce exponencialmente com a profundidade do perfil do solo, assim como encontrado neste estudo. Segundo os autores, isso ocorre devido ao fato de o carbono estar diretamente relacionado com a matéria orgânica do solo que, em superfície, encontra-se presente em maiores quantidades devido à decomposição da serapilheira, aeração no solo e a atividade dos microrganismos decompositores. Essas atividades diminuem ao longo do aumento da profundidade do solo, sendo que a maior densidade do solo faz com que não ocorram as atividades acima citadas da mesma forma em que ocorrem na primeira camada, assim como não há a presença de serapilheira.

A Mata Ciliar apresentou os maiores teores de matéria orgânica e carbono, porém com os menores valores de peso seco para serapilheira indicando, provavelmente, uma alta decomposição da serapilheira nesta fisionomia, com alta ciclagem de nutrientes no solo e a atividade de microrganismos. Segundo Larcher (2001), a espécie, fase de desenvolvimento, estado nutricional, condições edafoclimáticas e o relevo da área faz com que as concentrações dos constituintes da matéria seca da biomassa vegetal, formada especialmente por carbono e

constituintes minerais variem consideravelmente. Desta mesma forma, o relevo desta fisionomia indica uma maior deposição de nutrientes nos locais mais próximos ao rio, fazendo com que as áreas de coleta não apresentassem valores elevados de matéria seca na serapilheira, assim como o estado de conservação revela uma maior estabilidade da floresta.

A Floresta Estacional Semidecidual apresentou quantidade de carbono inferior à da Mata Ciliar e superior ao Cerrado. Segundo Britez (2006), a Floresta Estacional Semidecidual é a que apresenta os menores valores de estoque de carbono entre as fisionomias de Mata Atlântica, o que explica apresentar valores inferiores a Mata Ciliar. Esse autor encontrou uma variação entre 31,7 e 37,5 t. C/ha em profundidades de até 100 cm. Neste estudo os valores foram muito superiores, sendo que o estoque de carbono variou entre 127,09 t.C/ha para FES secundária até 177,83 t.C/ha para FES primária, como mostra a Tabela 3.

Em relação ao carbono do solo quando relacionado à profundidade, Montero (2008) afirma que a decomposição da serapilheira e das raízes finas que estão presentes nas primeiras camadas do solo são as responsáveis pela maioria do material orgânico que se incorpora ao solo. Portanto, para aumentar ou diminuir este estoque há a dependência da quantidade e qualidade da matéria orgânica que entra no solo, que são determinados pela taxa de decomposição, interação entre clima, uso da terra e atributos do solo (FIDALGO, 2007).

O IPCC (2003) recomenda que, para fins de quantificação de carbono no solo, a profundidade a ser amostrada deve ser de 0 a 30 cm, visando facilitar a coleta das amostras no campo. Entretanto, Jandl et al (2014) sugerem que a amostragem seja feita até, pelo menos, a 1 m de profundidade. Baseado nesse artigo, obtivemos neste trabalho que a profundidade de 40 a 100 cm apresentou praticamente a mesma quantidade de carbono existente de 0 a 40 cm, com uma diferença de apenas 10% a menos. Portanto, se extrapolarmos para 30 a 100 cm essa quantidade será praticamente igual à de 0 a 30 cm, duplicando a quantidade obtida atualmente pelo método do IPCC, o que justifica a amostragem até a profundidade de 1 m.

O estoque de carbono do solo encontrado neste trabalho depende de uma série de fatores que interagem entre si (LAL, 2006) como a profundidade do solo, a vegetação, o clima da região, o conteúdo de argila e mineralogia, atributos

estruturais, retenção de umidade no solo, densidade de cargas e superfície específica, assim como o histórico da área.

O acúmulo de carbono orgânico no solo baseia-se na estabilização, considerando interação do material orgânico com minerais do solo e sua proteção pelo efeito de agregação, desta forma, há a teoria de que o carbono no solo seja algo finito, uma vez que há a necessidade da interação entre superfícies minerais e matéria orgânica. Em contrapartida, o CHN Analyser leva em consideração não somente o carbono orgânico presente no solo baseado na matéria orgânica, mas também o carbono inorgânico. Desta forma, as quantidades de carbono encontradas baseado na matéria orgânica do solo apresentaram valores muito inferiores ao quantificado pelo CHN Analyser, indicando que a quantidade de carbono real está sendo subestimada se levado em consideração somente o acúmulo de carbono orgânico.

Os remanescentes de vegetação nativa que foram classificados como floresta primária apresentaram menores valores de peso seco e de carbono para a serapilheira. O valor total de serapilheira na área foi estimado em $9,12 \text{ ton.ha}^{-1}$, valor semelhante ao encontrado por Vital (2004) para o maior remanescente da fazenda Edgardia, com fisionomia de Floresta Estacional Semidecidual, onde o autor estimou $10,65 \text{ ton.ha}^{-1}$ de serapilheira. Desta forma, as florestas já estabelecidas apresentam valores inferiores de serapilheira, fator este que pode ser influenciado tanto pela menor deciduidade das espécies quanto pela maior decomposição da serapilheira e ciclagem dos nutrientes.

A qualidade da serapilheira varia de acordo com a concentração e conteúdo dos nutrientes presentes na mesma, e essa concentração varia em função da vegetação, do tipo de solo, da densidade arbórea, da habilidade da espécie em com os nutrientes, da proporção de folhas, do habitat natural e da idade das árvores (MARAFIGA, 2012).

Para que o acúmulo de serapilheira seja eficiente, a sua decomposição e absorção de carbono pelos solos, além da conservação e manejo são de extrema importância, uma vez que a ocorrência de processos erosivos pela errônea utilização do solo ocasiona na quebra de agregados e expõe sua matéria orgânica às ações do intemperismo (FERREIRA et al., 2008). Isso impossibilita que a microbiota fixe o carbono orgânico, liberando-o no ar e diminuindo de forma significativa seu potencial como sumidouro de carbono (MEDEIROS et al, 2014).

Vitousek e Sanford (1986) verificaram que as diferentes formações florestais e diferentes tipos de solo influenciam na produção de serapilheira e nutrientes, sendo observado também em ampla revisão de ciclagem de nutrientes realizada em florestas tropicais úmidas. Essa influência também foi verificada por Machado (2016), onde a produção de serapilheira e nutrientes foram comparadas entre distintos tipos de solos, concluindo que florestas em solos de maior fertilidade natural produzem maior quantidade de nutrientes e de serapilheira quando comparadas a florestas localizadas em locais com solos de fertilidade média e baixa.

Porém, neste estudo foram encontrados dados contrários aos apresentados pelos autores acima. O remanescente de Cerrado foi o que apresentou a menor fertilidade do solo, porém, a produção de serapilheira apresentou resultados muito superiores às demais fisionomias. O remanescente de Cerrado apresentou o maior peso seco entre as fisionomias e, conseqüentemente, o maior estoque de carbono. Isso ocorre devido as taxas de decomposição da serapilheira serem mais lentas nesta fisionomia do que em outras tipologias florestais, causando uma alta acumulação de biomassa aliada às características desse tipo de vegetação, como o alto escleromorfismo e a maior quantidade de celulose e lignina nos tecidos vegetais, como afirmam Peter et al. (2013) e Silva (2013). Silva (2007) encontrou em seu estudo que, dentre as fisionomias de Cerrado, o Cerradão, que é o caso da fisionomia deste estudo, é o que apresenta a maior produção de serapilheira devido à maior densidade dos indivíduos e a característica caducifolia de suas espécies.

Da mesma forma, buscou-se provar que a metodologia de análise do carbono pelo CHN analyser apresenta maior exatidão na quantificação do carbono total que o método de Walkley & Black, uma vez que este quantifica somente o carbono orgânico, como apresentado por Beltrame (2014), ao realizar a avaliação de ambos os métodos através da calibração multivariada para determinar o carbono dos solos. Gatto (2009) também verificou que independente da classe de solo e da profundidade, os maiores teores de carbono do solo foram obtidos com o método de combustão seca, ou seja, o CHN. Assim, foi possível avaliar neste estudo que ao considerar somente o método Walkley & Black, temos uma subestimação do carbono no solo. Ao considerar o carbono da floresta como um bem, sendo possível sua comercialização, essa metodologia irá fazer com que o

valor da floresta seja inferior. Para a serapilheira ocorre o oposto, ao considerar que 50% do peso seco é carbono (IPCC, 2003) há uma superestimação, uma vez que o CHN apresentou que apenas cerca de 40% do peso seco da serapilheira é carbono.

De acordo com Young (1976), os solos exercem influência sobre o tipo de vegetação presente numa dada localidade, da mesma forma o estoque de carbono do solo e na serapilheira calculado e apresentado neste trabalho dependem de uma série de fatores que interagem entre si, como a profundidade do solo, a fisionomia em que está inserida, o grau de conservação da floresta, o tipo de solo em que está inserida, o histórico da área e até mesmo a metodologia utilizada para a quantificação destes estoques de carbono. Desta forma, buscou-se avaliar todos os parâmetros que influenciam direta e indiretamente no armazenamento de carbono no solo, tanto orgânico quanto inorgânico, sendo possível a confirmação das diversas interações através dos resultados obtidos até aqui.

6 CONCLUSÕES

- 1) As Fazendas Lageado e Edgardia apresentaram 187,87 t.ha⁻¹ de carbono no solo, analisado pela metodologia CHN Analyser e 125,63 t.ha⁻¹ de carbono no solo pela metodologia de Walkey-Black. Portanto, a quantificação através da metodologia do carbono orgânico pelo método de Walkey-Black subestima a quantidade total de carbono no solo, sendo indicada a quantificação pelo método de CHN Analyser.
- 2) As camadas mais profundas de solo apresentaram estoque de carbono considerável, sendo encontrado neste estudo 87,13 t.ha⁻¹ de carbono de 40 a 100 cm de profundidade. Esta pesquisa apresentou que as camadas de 40 a 100 cm são 10% inferiores em relação à quantidade de carbono que os 40 cm superficiais de solo. Assim, é clara a importância da sua quantificação abaixo de 30 cm para valoração da floresta;
- 3) O estoque de carbono se mostrou diferente entre as fisionomias das Fazendas Lageado e Edgardia, sendo que o Cerrado apresentou valores muito inferiores ao da Mata Ciliar para o solo; porém, para serapilheira os resultados foram inversos, sendo o fragmento de Cerrado o que apresentou maior valor de carbono estocado. Em relação ao estado de conservação do solo, os remanescentes sem histórico de exploração apresentaram maiores estoques de carbono em relação aos que possuíam histórico de exploração ou apresentavam áreas desmatadas décadas atrás;
- 4) Para a serapilheira, a metodologia proposta pelo IPCC (2003) superestima a quantificação de carbono nas fisionomias estudadas, uma vez que considera em torno de 50% de carbono na matéria seca, sendo que a análise pelo CHN analyser quantificou em torno de 38% de carbono na serapilheira nas fisionomias estudadas.
- 5) A fertilidade do solo foi diretamente proporcional à presença de matéria orgânica e carbono no solo, sendo que o fragmento com Mata Ciliar, tanto primária quanto secundária, apresentou maior fertilidade do solo e maiores estoques de matéria orgânica e carbono.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, L. M. S.; MACHADO, R. B.; MARIANO-FILHO, J. A. Diversidade Biológica do Cerrado. In: AGUIAR, L. M. S.; CAMARGO, A. J. A (Ed.). **Cerrado: Ecologia e Caracterização**. Brasília: Embrapa, 2004. p. 17-38.
- ALHO, C. J. R.; MARTINS, E. de S. (Org.). **De grão em grão, o cerrado perde espaço**. Brasília: WWF, 1995. 66p.
- ALVARENGA, A.P.; CARMO, C.A.F.S. **Sequestro de carbono: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural**. Viçosa, Minas Gerais. Universidade Federal de Minas Gerais. 2006.
- ALVARES C.A.; STAPE J.L.; SENTELHAS P.C.; GONCALVES J.L.M, SPAROVEK G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, vol. 22, n. 6, 711–728, 2013. DOI 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- ALVES, S. L. Regeneração natural em uma área de caatinga situada no município de Pombal-PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v.5, n.2, p. 152-168, 2010.
- BARBOSA, V.; GARCIA, P. B.; RODRIGUES, E. G.; PAULA, A. Biomassa, carbono e nitrogênio na serapilheira acumulada de florestas plantadas e Nativa. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 1, p.2-9, jan. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.024315>.
- BATJES, N. H. Mitigation of atmospheric CO₂ concentrations by increased carbon sequestration in the soil. **Biology and Fertility of Soils**, Wageningen, v. 27, n. 3, p. 230-235, 1998.
- BELTRAME, K. K. **Avaliação dos métodos Walkley & Black e CHN como métodos de referência para calibração multivariada na determinação de carbono orgânico em solos brasileiros**. 2014. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2014.
- BODDEY, R.M. Brazilian agriculture: the transition to sustainability. **Journal of Crop Production**, Londres, v.9, p.593-621, 2003.
- BRITEZ, R. **Estoque e incremento de carbono em florestas e povoamentos de espécies arbóreas com ênfase na Floresta Atlântica do sul do Brasil**. Colombo: Embrapa, 2006. 165 p.
- BROWN, S., LUGO, A., CHAPMAN, J. Biomass of tropical tree plantations and its implications for the global carbon budget. **Canadian journal of Forestry Research**, Ottawa, v.16, p. 390 – 394, 1986.
- CALDEIRA, M. V. W. Carbono orgânico em solos florestais. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds.). **As Florestas e o Carbono**. Curitiba: Ecoplan, 2002. p. 191-213.

CARVALHO, T. M. **Modelagem digital de atributos de solo da Fazenda Edgárdia – Botucatu -SP**. 2016. 145 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

CARVALHO, W. A.; PANOSO, L. A.; MORAES, M. H. **Levantamento semidetalhado dos solos da Fazenda Experimental Edgárdia – Município de Botucatu - SP**. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 1991. 2 v, 300p.

CAVALLET, L. E.; PAULA, E. V. Estimativa de sequestro de carbono da biomassa aérea como indicador de sustentabilidade em decorrência da adequação da área de preservação permanente na sub-bacia do rio pequeno (Antonina - PR). **Scientia Agraria**, Londrina, v. 5, n. 8, p.1-13, mar. 2007.

CAVANAUGH, K.C.; GOSNELL, J.S.; DAVIS, S.L.; AHUMADA, J.; BOUNDJA, P.; CLARK, D.B. Carbon storage in tropical forests correlates with taxonomic diversity and functional dominance on a global scale. **Global Ecology and Biogeography**, Madrid, vol. 23, n. 5, p. 563-573, 2014. <http://dx.doi.org/10.1111/geb.12143>.

CENAMO, M. C. **Guia sobre Projetos REDD+ na América Latina**. Manaus: 2010. 96p.

CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Agricultura e aquecimento global. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.40-44, 2007.

CHANG, M. Y. **Sequestro florestal de carbono no Brasil – Dimensões políticas socioeconômicas e ecológicas**. 2001. Tese (Doutorado) - Curso de Meio Ambiente, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2001.

CHAVES, L. H. G.; TITTO, G. A.; CHAVES, I. B. Propriedades químicas do solo aluvial da Ilha de Assunção – Cabrobó (Pernambuco). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p.431-437, jan. 2004.

COSTA C.C.A., CAMACHO R.G.V., MACEDO I.D., SILVA P.C.M. Análise comparativa da produção de serapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de caatinga na FLONA de Açú-RN. **Revista Árvore**, Viçosa, vol. 34, n. 2, p. 254-265, 2010.

COUTINHO, R. P. Estoque de carbono e nitrogênio e emissão de N₂O em diferentes usos do solo na Mata Atlântica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 2, p.195-203, fev. 2010.

CUNHA, E.Q. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho: I - Atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, vol.35, p. 589-602, 2011.

DIAS, L.E.; JUCKSCH, I.; RICCI, M.S.F.; ALVAREZ V., V.H. Comparação de diferentes métodos de determinação de carbono orgânico em amostras de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, vol. 15, p. 157-162, 1991.

EITEN, G. Vegetação do cerrado. In: PINTO, M. N. (Ed.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. 2. ed. Brasília: UnB: SEMATEC, p. 17-73, 1994.

ENGEL, V.L.; PARROTTA, J.A. An evaluation of direct seeding for restoration of degraded lands in central São Paulo state, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.152, p.169-181, 2001.

FEARNSIDE, P.M. Consequências do desmatamento da Amazônia. **Scientific American Brasil Especial Biodiversidade**, São Paulo, p. 54-59, 2010 a.

_____. Estoque e Estabilidade do Carbono nos Solos da Amazônia Brasileira. p. 259–263. In: W. TEIXEIRA, D.C.; KERN, B.C.; MADARI, H.N.; LIMA, W.I. WOODS (EDS.) **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas**. Editora da Universidade Federal do Amazonas & Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Amazonas, 420; 2010 b.

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. **Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Corumbá: EMBRAPA Pantanal, 2009. 4 p. (Comunicado Técnico, 69).

FERREIRA, E. A. B.; GOMES, A. C.; RAMOS, M. L. G.; RESCK, D. V. S. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, vol. 31, n. 6, nov/dez 2008.

FIDALGO, E. C. C. Estoque de carbono nos solos do Brasil. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, n. 121, p. 1-27, dez. 2007.

FONSECA, S. et al. Alterações em um Latossolo sob eucalipto, mata natural e pastagem. I. Propriedades físicas químicas. **Revista Árvore**, Viçosa, v.17, p.271-288, 1993.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA/INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE (2001). **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica**: período 1995-2000. Acesso em: 04 de março de 2018.

_____. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica**: período 2016-2017. Acesso em: 04 de março de 2018.

GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S.; VILLANI, E. M. A. Comparação de métodos de determinação do carbono orgânico em solos cultivados com Eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p.735-740, jan. 2009.

GIÁCOMO, R. G.; PEREIRA, M. G.; SILVA, C. F.; GOMES, J. H. G. Deposição de serapilheira e carbono em plantios de Sabiá, Andiroba e Floresta Secundária. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 47, n. 8, p.187-196, abr. 2017.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de Carbono e Nitrogênio e Fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado Goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p.909-920, jun. 2012.

HIGUCHI, N. **Governos locais amazônicos e as questões climáticas globais**. Edição dos autores, 2009, 104 pp.

HOUGHTON R.A., BYERS B, NASSIKAS A.A. A role for tropical forests in stabilizing atmospheric CO₂. **Nature Climate Change**, Londres, vol. 5, n. 12, p. 1022-1023, 2015. <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate2869>.

HUSCH, B.; MILLER, C. E.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 2.ed. New York: The Ronald Press Company, 1972. 410 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Série Manuais Técnicos em Geociências. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE. n. 1, 2012, 271p.

_____. **Mapa de Biomas do Brasil**: primeira aproximação. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Acessível em www.ibge.gov.br.

IPAM. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. **REDD no Brasil: Um enfoque Amazônico**: Fundamentos, critérios e estruturas institucionais para um regime nacional de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal - REDD. 3. ed. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE, 2011. 160 p.

IPCC. **Mudança do Clima 2007: A Base das Ciências Físicas**. Genebra: Painel Intergovernamental Sobre Mudança do Clima, 2007, 25p.

_____. **Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation**. Bourdeaux, France: Painel Intergovernamental Sobre Mudança do Clima, 2011, 158p.

JANDL, R.; RODEGHIERO, M.; MARTINEZ, C.; COTRUFO, M.F.; BAMPÀ, F.; VAN WESEMAEL, B.; HARRISON, R.B.; GUERRINI, I.A.; RICHTER JR.; D.D., RUSTAD, L.; LORENZ, K.; CHABBI, A.; MIGLIETTA, F. Current status, uncertainty and future needs in soil organic carbon monitoring. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, 468–469, 376–383, 2014.

JORGE, L. A. B.; MILANI, T. M.; FONSECA, R. C. B.; ARRUDA, A. Estrutura Diamétrica e Arranjo Espacial das Espécies Mais Abundantes de um Fragmento de Floresta Estacional Semidecidual em Botucatu, SP. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, vol. 22, n. 3, p.355-367, set. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.027713>.

JORGE, L. A. B.; SARTORI, M. S. Uso do solo e análise temporal da ocorrência de vegetação natural na fazenda experimental Edgardia, em Botucatu, SP. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, p.585-592, 2002.

JORGE, L. A. B; PEREIRA, V. R. Anthropogenic Disturbances and the Natural Vegetation Regeneration: A Case Study of a Forest Fragment Located in a Cuesta Relief Area, State of São Paulo, Brazil. **Open Journal Of Forestry**, [s.l.], v. 05, n. 06, p.621-635, 2015. <http://dx.doi.org/10.4236/ojf.2015.56055>.

KARLEN, D.L. Soil quality concept, definition and framework for evaluation (a guess editorial). **Soil Science Society of America Journal**, Madison, vol.61, p. 4-10, 1997.

KELL, D. B. Large-scale sequestration of atmospheric carbon via plant roots in natural and agricultural ecosystems: why and how. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, Londres, vol. 367, n. 1595, p. 1589-1597, 2012.

LASCALA, N; A LOPES,; MARQUES, J; PEREIRA, G.t. Carbon dioxide emissions after application of tillage systems for a dark red latosol in southern Brazil. **Soil And Tillage Research**, [s.l.], v. 62, n. 3-4, p. 163-166, nov. 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0167-1987\(01\)00212-4](http://dx.doi.org/10.1016/s0167-1987(01)00212-4).

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima; 2001, 550 p.

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Eds.) **Definition soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. P.37-51. (Special Publication, 35).

LIMA, M. S; FREIRE. F. J.; MARAGON, L. C.; ALMEIDA, B. G.; RIBEIRO, E. P.; SANTOS, R. L. Solos florestais em fragmento de floresta urbana na mata de Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, BRASIL. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p.542-553, 29 jun. 2018. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509832037>.

LOVINS, H., & COHEN, B. **Climate capitalism: Capitalism in the age of climate change**. New York, NY: Hill & Wang, 2013, 390p.

MACDICKEN, K. G. **A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects**. Winrock International Institute for Agricultural Development. Forest Carbon Monitoring Program October 1997. Jan, 1997, 80p.

MACHADO, P. L. O. A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Quim. Nova**, Rio de Janeiro, v. 28, nº 2, p. 329-334, 2005.

MACHADO, D.L. **Aporte de serapilheira, fauna edáfica e matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de Restauração Florestal**. 2016. 204 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência Florestal, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.

MALHI, Y. Carbon in the atmosphere and terrestrial biosphere in the 21st century. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**. Edinburgh, v. 360, n. 1801, 2002.

MARAFIGA, J. S.; VIERA, M.; SZYMCAK, D. A. Deposição de nutrientes pela serapilheira em um fragmento de Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 6, p.765-771, dez. 2012.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. 2009. Aquecimento global e a fisiologia da planta. In: **Fisiologia Vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral** (Edição dos autores). 3ª. ed., Viçosa, Minas Gerais, p. 397-486.

MARIMON JUNIOR, B. H.; HARIDASAN, M. Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão e um cerrado Sensu Stricto em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, vol. 19, p. 913-926, 2005.

MARTINS, T. O. **Relação vegetação-variáveis edáficas, fitossociologia e diversidade em formação florestal do cerrado**. 2017. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

MEDEIROS, J. P. S.; ALMEIDA F. P.; CORRÊA M. A.; OLIVEIRA R. R. **Estoque de carbono no solo de mata ciliar em zonas urbanas**. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 5, 2014, Belo Horizonte. IBEAS, 2014. p. 1 - 19.

MELLO, F.F.C. Potential of soil carbon sequestration for the Brazilian Atlantic Region. In: LAL, R.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J. & CERRI, C.E.P. **Carbon sequestration in soils of Latin America**. New York, Haworth, 2006. p.349-368.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Mata Atlântica: Manual de Adequação Ambiental**. 35. ed. Brasília: Biodiversidade, 2010. 96 p.

MONTERO, L. L. **Carbono em solos de cerrado: vegetação nativa de cerradão versus plantios de Eucalyptus e Pinus**. 2008. 130 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MORAIS, V. A.; SCOLFORO, J. R. S.; SILVA, C. A.; MELLO, J. M.; GOMIDE, L. R.; OLIVEIRA, A. D. Carbon and biomass stocks in a fragment of cerradão in Minas Gerais state, Brazil. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 2, p.237-245, jun. 2013.

NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of soil analysis**. Chemical methods. Madison, Soil Science of America/American Society of Agronomy, 1996. Part 3. p.961-1010.

NOGUEIRA JUNIOR, L. R. **Estoque de carbono na fitomassa e mudanças os atributos do solos em diferentes modelos de restauração de Mata**

Atlântica. 2010. 96 f. Tese (Doutorado) - Curso de Conservação de Ecossistemas Florestais, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

OLIVEIRA, C. L. F.; PERMONIAN, L. M. Determinação de Material Orgânica no Solo por Espectrometria no Visível. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, vol. 2, n. 1, p.1-5, dez. 2002.

ORTEGA, V. R.; ENGEL, V. L. **Conservação da biodiversidade de remanescentes de Mata Atlântica na região de Botucatu, SP**. In: Congresso Nacional sobre essências nativas, 2, São Paulo. Anais.... Revista do Instituto Florestal, São Paulo, v.4, p.834-852, 1992.

PÉLLICO NETO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**, Curitiba, 1997, 316p.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1991. 343p.

RATUCHNE, L. C.; KOEHLER, H. S.; WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C. R.; SCHAMME, P. A. Estado da Arte na Quantificação de Biomassa em Raízes de Formações Florestais. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 3, p.450-462, 7 jun. 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.131515>.

REATTO, A., CORREIA, J. R., SPERA, S. T.; MARTINS, E. S. Solos do bioma Cerrado: aspectos pedológicos. Pp.107-150. In: Sano, S. M., Almeida, S. P. & Ribeiro, J. F. **Cerrado: ecologia e flora**. EMBRAPA-CPAC, Planaltina, 249p., 2008.

REICHARDT; K., TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri, Manole, 2004, 524p.

RHEINHEIMER, D.S.; MARTINAZZO, R.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. & SILVA, L.S. Amplitude no fósforo microbiano em um Argissolo em pastagem nativa submetida à roçada e à introdução de espécies forrageiras com fertilização fosfatada em diferentes épocas. **Acta Sci. Agron.**, Maringá, vol. 30, p. 561-567, 2008.

RIBEIRO, J. F; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In.: SANO, S. M; ALMEIDA, S. P; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: Ecologia e flora**. Brasília: EMBRAPA, 2008. v. 1, p. 152-212.

RIBEIRO, M.C.; METZGER, J.P.; MARTENSEN, A.C.; PONZONI, F.J.; HIROTA, M.M. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, Essex, vol. 142, n. 6, p. 1141- 1153. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>.

RIBEIRO, S. C.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V.; SOUZA, A. L.; NARDELLI, A. M. B. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma Floresta Madura no Município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.33, n.5, p.917-926, 2009.

RUFINO, A.M. **Estoque de carbono em solos sob plantios de eucalipto e fragmento de Cerrado**. 2009. 60p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2009.

RUGGIERO, J. K. C. **Carbono da biomassa radicular e variabilidade espacial do carbono orgânico em solo sob vegetação de cerrado “*stricto sensu*”**. 2013. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência Florestal, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: Ecologia e Flora**. Brasília: Embrapa, 2008. 1279 p.

SANTOS, F. S. dos. A importância da Biodiversidade. **Revista Científica de Educação a Distância**. Edição Especial, dez. 2010. 17p.

SCHREUDER, H. T.; GREGOIRE, T. G.; WOOD, G. B. **Sampling methods for multire-source Forest inventory**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1993.

SCHUMACHER, B. A. **Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments**. United States - Environmental Protection Agency, Las Vegas, abril 2002. Disponível em: <http://www.epa.gov/esd/cmb/research/papers/bs116.pdf>. Acesso em: 25 de novembro de 2018.

SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M. de; OLIVEIRA, A. D. de; PEREIRA, R. M.; SOUSA, F. N. de; GUEDES, I. C. de L. Volumetria, peso de matéria seca e carbono. In: SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M. de; OLIVEIRA, A. D. (Ed.). **Florística, estrutura, diversidade, similaridade, distribuição diamétrica e de altura, volumetria, tendências de crescimento e áreas aptas para manejo florestal**. Lavras: UFLA, 2008, p. 361-439.

SEGNINI, A.; SANTOS, L.M.; SILVA, W.T.L.; MARTINNETO, L.; BORATO, C.E.; MELO, W.J. & BOLONHEZI, D. Estudo comparativo de métodos para a determinação da concentração de carbono em solos com altos teores de Fe (Latosolos). **Química Nova**, São Paulo, vol. 31, p. 94-97, 2008.

SEIFFERT, M.E.B. **Mercado de carbono e Protocolo de Quioto: oportunidades de negócio na busca da sustentabilidade**. Editora Atlas. São Paulo. 2009, 208p.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. ampl. - Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

SILVA, H. F.; RIBEIRO, S.C; BOTELHO, S. A.; FARIA, R. A.V.B.; TEIXEIRA, M. B. R; MELLO, J. M. Estimativa do estoque de carbono por métodos indiretos em área de restauração florestal em Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Pairacibá, v. 43, n. 108, p.943-953, 1 dez. 2015.
<http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v43n108.18>.

SILVA, J. E. da. et al. Carbon storage in a clayey oxisol cultivated pastures in the “Cerrado” region, Brazil. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 103, p. 357-363, 2004.

SILVA, L. G.; SANTOS, S.; MORAES, F. Fragmentação da mata atlântica de interior: análise de paisagem do corredor verde sul-americano e florestas do alto Paraná. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 32, n. 3, p.61-68, dez. 2015.

SILVEIRA, P. Estimativa da biomassa e carbono acima do solo em um fragmento de Floresta Ombrófila densa utilizando o método da derivação do volume comercial. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 789-800, out./dez. 2010.

SKEJEMSTAD, J. D.; TAYLOR, J. A. Does the Walkley-Black methods determine soil charcoal? **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v.30, p.2299-2310, 1999.

SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA, M. L. R. Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, vol. 26, n. 5, p.533-539, out. 2002.
<http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622002000500002>.

SOUZA, C. R. **Dinâmica de carbono em floresta explorada e em floresta nativa não explorada na Amazônia**. 2012. 129 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência de Florestas Tropicais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2012.

TEOBALDO, D. **Sequestro florestal de carbono e avaliação de resiliência: o caso do incêndio no parque nacional de Brasília em 2010**. 2013. 63 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

THENG, B. K. G. **Soil Structure and Aggregate Stability**. Rengasamy, P., ed.; Seminar Proceedings. Institute of Irrigation and Salinity Research: Tatura, Australia, 1987.

THORMANN, M.N., SZUMIGALSKI, A.R., BAYLEY, S.E. Aboveground peat and carbon accumulation potentials along bog-fen-marsh wetland gradient in southern boreal Alberta, Canada. **Wetlands**, Alberta, v. 19 p. 305–319, 1999.

VASCONCELOS, R.F.B. Limites de consistência e propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrocoeso sob aplicação de diferentes resíduos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, vol. 34, p. 639-648, 2010.

VEZZANI, F.M e MIELNICZUK, J. **O solo como sistema**. Curitiba: Edição dos autores, 2011, 104 p.

VITAL, A. R. T.; GUERRINI, I. A.; FRANKEN, W. K.; FONSECA, R.C.B. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional

semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p.793-800, dez. 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622004000600004>.

VITOUSEK, P. M.; SANFORD JR., R. L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 17, p. 137-167, 1986.

WALKLEY, A. e BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Londres, vol. 37, p. 29-38, 1934.

WATSON, R. T. **Land Use, Land-Use Change and Forestry: A Special Report of the IPCC**, Cambridge University Press: Cambridge, 2000, 375p.

YOUNG, A. **Tropical soils and soil survey**. Cambridge, Cambridge University Press.; 1976. 468 p.