

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**TESE**

**Estoque de Carbono e Atributos Edáficos em Áreas  
de Plantios de Seringueira (*Hevea brasiliensis* M.  
Arg.), Mata e Pastagem no Estado do Rio de Janeiro**

**Anderson Ribeiro Diniz**

**2015**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**ESTOQUE DE CARBONO E ATRIBUTOS EDÁFICOS EM ÁREAS  
DE PLANTIOS DE SERINGUEIRA (*HEVEA BRASILIENSIS* M.  
Arg.), MATA E PASTAGEM NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

**ANDERSON RIBEIRO DINIZ**

*Sob orientação do Professor*  
**Marcos Gervasio Pereira**

*e Co-orientação de*  
**Fabiano de Carvalho Balieiro**  
*e*  
**Eduardo Vinícius da Silva**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2015

633.8952098153

D585e

T

Diniz, Anderson Ribeiro, 1985-

Estoque de carbono e atributos edáficos em áreas de plantios de seringueira (*Hevea Brasiliensis* M. Arg.), mata e pastagem no Estado do Rio de Janeiro / Anderson Ribeiro Diniz. – 2015.

99 f.: il.

Orientador: Marcos Gervasio Pereira.

Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, 2015.

Bibliografia: f. 83-99.

1. Seringueira – Cultivo – Rio de Janeiro (Estado) - Teses. 2. Plantas e solo – Rio de Janeiro (Estado) - Teses. 3. Solos – Rio de Janeiro (Estado) - Análise - Teses. 4. Fertilidade do solo – Rio de Janeiro (Estado) – Teses. 5. Solos – Teor de carbono – Rio de Janeiro (Estado) - Teses. I. Pereira, Marcos Gervasio, 1965- II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA-CIÊNCIA DO SOLO**

**ANDERSON RIBEIRO DINIZ**

Tese submetida ao curso de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo, área de concentração em Ciência do Solo, como requisito parcial para a obtenção do grau de **Doutor** em Agronomia.

TESE APROVADA EM 20/02/2015.

---

Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ  
(Orientador)

---

Ademir Fontana. Dr. Embrapa Solos

---

Alexander Silva de Resende. Dr. Embrapa Agrobiologia

---

Everaldo Zonta. Dr. UFRRJ

---

José Luiz Rodrigues Torres. Dr. Inst. Federal do Triângulo Mineiro

*Aos meus pais José Vitor Diniz e Neusa Ribeiro Diniz,  
Aos meus irmãos Flávio, Joelma e Fernanda,  
Aos meus sobrinhos Maria Eduarda, Gabriela e Luís Felipe e  
Amigos.  
Dedico*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pelo Dom da vida e que me permitiu a realização deste trabalho.

A meus pais José Vitor Diniz e Neusa Ribeiro Diniz pelo amor, carinho e pelo exemplo de humildade e honestidade na vida.

Aos meus irmãos Flávio, Joelma e Fernanda pelo companheirismo e incentivo durante os meus estudos.

Aos meus sobrinhos Maria Eduarda, Gabriela e Luís Felipe pelo carinho, amor e pelos momentos de alegria que passamos juntos quando volto pra casa para visitá-los.

A minha querida madrinha Áurea pelos conselhos e orações durante todo esse tempo longe de casa.

Ao Professor Marcos Gervasio Pereira pela amizade e ensinamentos ao longo do caminho da pós-graduação.

Ao Pesquisador Fabiano de Carvalho Balieiro e ao Professor Eduardo Vinícius da Silva pelas orientações e ajuda nos trabalhos de campo e elaboração da tese.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro que me deu a oportunidade de cursar o ensino superior.

Aos professores que contribuíram para a minha formação profissional.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos durante o Doutorado.

Aos técnicos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Adriana França, Jair Guedes, Maria Helena Castro e José Carlos Moraes pela realização das análises de laboratório e viagens de campo.

A Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (PESAGRO), ao Pesquisador Aldo Oliveira e ao Engenheiro Agrônomo Renato Cruz pela disponibilização da área experimental e pelas informações que contribuíram para elaboração da tese.

Aos membros do Laboratório de Gênese e Classificação dos Solos pela amizade e pela boa convivência diária.

Aos amigos Alexandre, Felipe, Douglath, Deyvid, Elias e Sidinei pela ajuda nas coletas de campo.

Ao Fabiano Prates pelas dicas, ajuda nas discussões e na formatação da tese.

Aos proprietários do sítio Pedacinho do Céu, João Ambrósio e Eliza pela disponibilização da área para a realização de parte da tese.

E a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

Anderson Ribeiro Diniz nasceu no dia 26 de Janeiro de 1985 no município de Itamonte, estado de Minas Gerais, filho de José Vitor Diniz e Neusa Ribeiro Diniz. Concluiu o curso de graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em dezembro de 2008. Durante a graduação foi bolsista de iniciação científica do CNPq no Grupo de Pesquisa de Ciclagem de Nutrientes da Embrapa Agrobiologia. Em março de 2009 ingressou no Mestrado do Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais e Florestais da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Em 2011 ingressou no Doutorado, no Curso de Pós Graduação em Agronomia – Ciência do Solo da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

## RESUMO GERAL

DINIZ, Anderson Ribeiro. **Estoque de carbono e atributos edáficos em áreas de plantios de seringueira (*Hevea brasiliensis* M. Arg.), mata e pastagem no estado do Rio de Janeiro**. 2015. 99f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

O estado do Rio de Janeiro possui 8.000 km<sup>2</sup> de terras com condições térmicas e hídricas satisfatórias para o cultivo da seringueira. Essa tese apresenta, na forma de capítulos, resultados sobre atributos do solo e associados a clones de seringueira. No capítulo I, foram avaliados a fertilidade do solo, o estado nutricional, o crescimento e a ciclagem de nutrientes em plantio de diferentes clones de seringueira (FX 3864, FDR 5788, PMB 1, MDX 624 e CDC 312) aos sete anos de idade. O estudo foi desenvolvido na área experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (PESAGRO) localizada no município de Silva Jardim. Os teores de nutrientes do solo foram muito baixos. Todos os clones apresentaram teores de macronutrientes (N, P e K) abaixo dos níveis críticos de suficiência. Os clones MDX 624 e CDC 312 estavam melhor nutridos em relação aos demais clones. O clone MDX apresentou maior crescimento no diâmetro à altura do peito (DAP). Os clones MDX 624, FDR 5788 e CDC 312 apresentaram maior crescimento em altura total (Ht). Os teores de nutrientes da serapilheira dos clones seguiu a ordem N > Ca > K > Mg > P. No capítulo II, os objetivos do estudo foram quantificar os estoques de carbono no solo, na biomassa e avaliar a dinâmica da matéria orgânica nos mesmos plantios de clones de seringueira descritos no capítulo I. O plantio de clones não apresentou diferença no estoque de carbono do solo na profundidade de (0-40 cm), o estoque médio de carbono do solo foi de 84,6 Mg ha<sup>-1</sup>. O estoque de carbono da biomassa apresentou diferença entre os clones, o clone MDX 624 apresentou o maior estoque de carbono na biomassa (77,41 Mg ha<sup>-1</sup>). O estoque médio de carbono total das áreas cultivadas (solo+biomassa) foi de 135,5 Mg ha<sup>-1</sup>. A diferença na quantidade e composição da serapilheira proporcionou alterações no conteúdo de matéria orgânica leve em água e no teor de carbono das substâncias húmicas. No capítulo III, o objetivo do estudo foi avaliar a fertilidade do solo, a ciclagem de nutrientes, o estoque de carbono, a dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados à qualidade do solo em áreas com diferentes usos, sendo uma área com plantio de dois clones de seringueira (FX 3864 e IAN 873) com 28 anos de idade, uma área de mata e uma área de pastagem com 16 anos de implantação no município de Silva Jardim - RJ. O uso solo causou diferença nos atributos fertilidade, estoque de carbono e substâncias húmicas da matéria orgânica. O cultivo da seringueira manteve o carbono derivado da mata e incrementou o carbono estocado no solo até a profundidade de 0-50 cm. Os clones se comportaram de forma diferente na estocagem: o clone FX 3864 estocou 90,2 Mg ha<sup>-1</sup> de carbono e o clone IAN 873 101,5 Mg ha<sup>-1</sup> na profundidade de 0-40 cm sendo superior a área de mata (93,9 Mg ha<sup>-1</sup>) e pastagem (71,1 Mg ha<sup>-1</sup>). A pastagem apresentou os maiores teores de carbono da biomassa microbiana (CBM), nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) e respiração basal (RBS), evidenciando perdas de carbono (aumento do qCO<sub>2</sub>). O cultivo com seringueira causou redução na atividade enzimática e em atributos microbiológicos (CBM, RBS e qCO<sub>2</sub>), comparativamente a área de mata, a excessão foram para as enzimas FDA e arilsulfatase que apresentaram maior atividade sob os plantios dos clones de seringueira.

**Palavras-chave:** Seringueira. Dinâmica da Matéria Orgânica. Indicadores Edáficos.



## GENERAL ABSTRACT

DINIZ, Anderson Ribeiro. **Carbon storage and edaphic attributes in areas of rubber tree plantation, forest and pasture in the State of Rio de Janeiro.** 2015. 99 p. Thesis (Doctor Science in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

The state of Rio de Janeiro has 8,000 km<sup>2</sup> of its area with climatic conditions adequate for rubber tree cultivation. This thesis presents, in three chapters, results about soil attributes, associated with rubber tree clones. In Chapter I, it was evaluated the soil fertility, nutritional status, growth and nutrient cycling in plantations of different clones of rubber tree (FX 3864, FDR 5788, PMB 1, MDX 624 e CDC 312) at seven years of age. The study was developed in the experimental research area of Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (PESAGRO), in Silva Jardim municipality, Rio de Janeiro State. The soil nutrient levels were very low. All clones showed levels of macronutrients (N, P and K) below the critical levels. The MDX 624 and CDC 312 clones were better nourished than other clones. The MDX clone showed greater growth in diameter at chest level (DCL). The clones MDX 624, FDR 5788 and CDC 312 presented higher growth in total height (Ht). The litter nutrient contents of the clones followed the order: N > Ca > K > Mg > P. In the Chapter II, the objectives were to quantify carbon stocks in soil and biomass, and to evaluate the dynamics of organic matter in the same rubber tree clone plantations described in Chapter I. The planting of clones showed no difference in the stock of soil carbon at the depth of 0-40 cm, and the average soil carbon stock was 84.6 Mg ha<sup>-1</sup>. The carbon stock of biomass differed between the clones, the MDX 624 showed the largest stock of carbon in biomass (77.41 Mg ha<sup>-1</sup>). The average total carbon stock of cultivated areas (soil + biomass) was of 135.5 Mg ha<sup>-1</sup>. The difference in the amount and composition of litter resulted in changes to content of light organic matter in water and carbon content of humic substances. In Chapter III, the objective was to evaluate soil fertility, nutrient cycling, carbon storage, the dynamics of organic matter and attributes related to soil quality in areas with different usages, that were: one area with two clones of rubber tree (IAN 873 and FX 3864) with 28 years of age; one area of secondary forest; and a pasture with 16 years of implantation, all located in the municipality of Silva Jardim - RJ. The land usage resulted in differences in the following attributes, soil fertility, carbon storage and humic substances of organic matter. The cultivation of rubber tree maintained the carbon levels as originated from the forest and increased the carbon stored in soil to a depth of 0-0.5m. The clones behaved differently regarding to soil carbon storage: clone FX 3864 stocked 90.2 t ha<sup>-1</sup> and clone IAN 873 had 101.5 t ha<sup>-1</sup> at a depth of 0-0.4 m, being greater than the forest area (93.9 Mg ha<sup>-1</sup>) and pasture (71.1 Mg ha<sup>-1</sup>). The pasture presented the highest carbon content of microbial biomass (MBC), microbial biomass nitrogen (MBN) and basal respiration (BSR), but the area showed carbon losses (increased qCO<sub>2</sub>). The cultivation of rubber tree caused a decrease in the enzyme activity and microbiological attributes (MBC, BSR and qCO<sub>2</sub>) compared to the area of secondary forest; with the exception for FDA and arylsulfatase enzymes that showed greater activity in the area with rubber tree clones plantations.

**Keywords:** Rubber tree. Dynamics of organic matter. Edaphic indicators.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Plantios de Seringueira no Brasil para produção de borracha natural .....	5
<b>Tabela 2.</b> Valores dos parâmetros climáticos utilizados para a distinção das classes de aptidão para a seringueira.....	7
<b>Tabela 3.</b> Estoque de carbono na biomassa florestal .....	12
<b>Tabela 4.</b> Estoque de C no solo em plantios de seringueira. ....	14
<b>Tabela 5.</b> Principais enzimas utilizadas como indicadoras de qualidade do solo.....	18
<b>Tabela 6.</b> Fertilidade e granulometria do solo sob plantios de clones de seringueira. ....	28
<b>Tabela 7.</b> Teores de nutrientes em folhas maduras de diferentes clones de seringueira e nível considerado adequado de teores nas folhas segundo Garcia et al. (1999). ....	30
<b>Tabela 8.</b> Estoque de serapilheira e relação C/N em plantio de diferentes clones de seringueira. ....	31
<b>Tabela 9.</b> Teores e conteúdo de nutrientes no estoque de serapilheira em plantio de clones de seringueira. ....	32
<b>Tabela 10.</b> Modelos alométricos para predição de C total e nas diferentes frações de árvores de seringueira.. ....	38
<b>Tabela 11.</b> Estimativa do C estocado em diferentes componentes da árvore e C total de diferentes clones de seringueira. ....	41
<b>Tabela 12.</b> Teores de carbono, densidade do solo e estoque de carbono no solo em plantio de clones de seringueira. ....	44
<b>Tabela 13.</b> Teores de C nas frações granulométricas da matéria orgânica ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e teor de matéria orgânica leve em água do solo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) sob plantio de diferentes clones de seringueira. ....	46
<b>Tabela 14.</b> Carbono orgânico total, e C das frações húmicas da matéria orgânica do solo sob diferentes plantios de clones de seringueira. ....	47
<b>Tabela 15.</b> Estoque e relação C/N da serapilheira em áreas com diferentes usos do solo. ....	62
<b>Tabela 16.</b> Teores e conteúdos de nutrientes do estoque de serapilheira em áreas com diferentes usos do solo. ....	63
<b>Tabela 17.</b> Teores de nutrientes no látex de diferentes clones de seringueira.....	64
<b>Tabela 18.</b> Atributos químicos e granulometria do solo em áreas com diferentes usos.....	65
<b>Tabela 19.</b> Origem do C estocado no solo sob diferentes áreas e profundidades.....	68
<b>Tabela 20.</b> Teores e estoques de carbono em áreas sob diferentes usos do solo. ....	69
<b>Tabela 21.</b> Teores de C nas frações granulométricas da matéria orgânica ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e teor de matéria orgânica leve em água do solo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em diferentes áreas.....	71
<b>Tabela 22.</b> Teores de C das frações húmicas da matéria orgânica do solo sob diferentes usos do solo. ....	74
<b>Tabela 23.</b> Atividade enzimática e Propriedades microbiológicas do solo na camada de (0-10 cm) de profundidade sob diferentes usos do solo.....	76
<b>Tabela 24.</b> Propriedades químicas e físicas do solo na camada de (0-10 cm) de profundidade sob diferentes usos do solo.....	76

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Produção de borracha natural brasileira.....	5
<b>Figura 2.</b> Áreas com aptidão para a implantação da cultura da seringueira no estado do Rio de Janeiro. ....	7
<b>Figura 3.</b> Localização do município de Silva Jardim, na Baixada Litorânea no estado do Rio de Janeiro.....	24
<b>Figura 4.</b> Valores médios de precipitação total, temperatura máxima, temperatura mínima e temperatura média referente aos anos de 2012 e 2013.....	25
<b>Figura 5.</b> Esquema do plantio de clones de seringueira aos 7 anos de idade. ....	26
<b>Figura 6.</b> Diâmetro à altura do peito médio (DAP) – (A) e altura total média de clones de seringueira (B).....	29
<b>Figura 7.</b> Contribuição de cada componente da parte aérea no C total estocado em clones de seringueira.. ....	42
<b>Figura 8.</b> Áreas de plantio dos clones de seringueira, mata e pastagem. ....	57
<b>Figura 9.</b> Áreas de plantios dos clones FX 3864 (A), IAN 873 (B), Mata (C) e Pastagem (D). ....	57
<b>Figura 10.</b> Abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ no perfil do solo em diferentes áreas. ....	67

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1 Características Botânicas da Seringueira.....	3
2.2 Exigências Climáticas .....	3
2.2.1 Temperatura.....	3
2.2.2 Fatores hídricos .....	3
2.2.3 Exigências quanto ao solo .....	4
2.3 Histórico e Perspectivas para a Heveicultura no Brasil.....	4
2.4 Zoneamento da Heveicultura no Estado do Rio de Janeiro.....	6
2.5 Histórico de Nutrição Mineral na Cultura da Seringueira.....	8
2.6 Respostas da Cultura da Seringueira à Aplicação de Fertilizantes.....	9
2.6.1 Resposta à adubação na fase de desenvolvimento.....	9
2.6.2 Resposta à adubação na fase de produção .....	10
2.7 Estoque de Carbono na Biomassa Florestal .....	11
2.8 Estoque de Serapilheira Florestal .....	12
2.9 Estoque de Carbono no Solo .....	13
2.10 Matéria Orgânica Leve .....	14
2.11 Fracionamento da Matéria Orgânica do Solo .....	15
2.12 Origem do <sup>13</sup> C do Solo .....	16
2.13 Qualidade do Solo .....	17
<b>3 CAPÍTULO I: AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL, CRESCIMENTO, ESTOQUE E NUTRIENTES DA SERAPILHEIRA EM PLANTIO DE CLONES DE SERINGUEIRA (HEVEA BRASILIENSIS) .....</b>	<b>20</b>
3.1 RESUMO .....	21
3.2 ABSTRACT .....	22
3.3 INTRODUÇÃO.....	23
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.4.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo.....	24
3.4.2 Solo e Relevô.....	24
3.4.3 Clima .....	25
3.4.4 Histórico da Área.....	25
3.4.5 Delineamento Experimental .....	25
3.4.6 Avaliações Realizadas .....	26
3.4.7 Análises Estatísticas .....	27
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	28
3.5.1 Fertilidade do Solo .....	28
3.5.2 Avaliação do Crescimento dos Clones .....	28
3.5.3 Avaliação do Estado Nutricional dos Clones .....	29
3.5.4 Avaliação do Estoque de Serapilheira .....	30
3.5.5 Teores e Conteúdo de Nutrientes no Estoque de Serapilheira.....	31
3.6 CONCLUSÕES .....	33
<b>4 CAPÍTULO II: ESTOQUE DE CARBONO NA BIOMASSA, NO SOLO E FRACIONAMENTO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM ÁREA CULTIVADA COM CLONES DE SERINGUEIRA (HEVEA BRASILIENSIS)....</b>	<b>34</b>
4.1 RESUMO .....	35

4.2 ABSTRACT .....	36
4.3 INTRODUÇÃO.....	37
4.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	38
4.4.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo.....	38
4.4.2 Delineamento Experimental .....	38
4.4.3 Avaliações Realizadas .....	38
4.4.4 Análises Estatísticas .....	40
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	41
4.5.1 Estoque de Carbono na Biomassa dos Clones.....	41
4.5.2 Estoque de Carbono no Solo .....	43
4.5.3 Matéria Orgânica Leve em Água e Fracionamento Granulométrico da MOS.....	45
4.5.4 Fracionamento Químico da MOS.....	47
4.6 CONCLUSÕES .....	50
<b>5 CAPÍTULO III:ESTOQUE DE CARBONO, DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA, FERTILIDADE E INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM ÁREAS SOB DIFERENTES USOS DA TERRA NA BAIXADA LITORÂNEA FLUMINENSE.....</b>	<b>51</b>
5.1 RESUMO .....	52
5.2 ABSTRACT .....	53
5.3 INTRODUÇÃO.....	54
5.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	56
5.4.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo.....	56
5.4.2 Histórico da Área.....	56
5.4.3 Avaliações Realizadas .....	58
5.4.6 Análises Estatísticas .....	61
5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	62
5.5.1 Estoque de Serapilheira .....	62
5.5.2 Nutrientes no Estoque de Serapilheira.....	63
5.5.3 Teores de Nutrientes no Látex.....	64
5.5.4 Fertilidade do Solo .....	64
5.5.5 Abundância Natural de <sup>13</sup> C no Perfil do Solo.....	66
5.5.6 Estoque de Carbono no Solo .....	68
5.5.7 Fracionamento Granulométrico da MOS e Matéria Orgânica Leve em Água.....	71
5.5.8 Fracionamento Químico da Matéria Orgânica .....	73
5.5.9Avaliação das Propriedades Microbiológicas do Solo .....	75
5.6 CONCLUSÕES .....	79
6 CONCLUSÕES GERAIS .....	80
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	81
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	83

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

As mudanças no uso da terra devido ao desmatamento, as queimadas, os incêndios florestais e a queima de combustíveis fósseis têm contribuído significativamente para o aumento da concentração dos gases de efeito estufa (GEE). Estimativas apontam que as conversões de ecossistemas nativos para agrossistemas, somados à agricultura, contribuem atualmente com aproximadamente 24% das emissões mundiais de CO<sub>2</sub>, 55% das emissões de CH<sub>4</sub> e 85% do total das emissões de N<sub>2</sub>O para a atmosfera (IPCC, 2007).

O aumento da emissão de GEE e o consequente aquecimento global do planeta vêm acarretando a busca por estratégias que visem à redução das fontes desses gases. Sabe-se que alguns sistemas agrícolas ou condições de manejos adotados podem potencializar ou mitigar a emissão de GEE para a atmosfera. Nesse contexto, as florestas têm sua importância destacada graças à capacidade natural dos vegetais de sequestrar CO<sub>2</sub> da atmosfera, por meio da fotossíntese, e fixá-lo sob a forma de carbono na biomassa lenhosa, folhas e raízes e posteriormente com a decomposição armazenar C no solo.

Uma alternativa para aumentar os estoques de C no solo seria a introdução de florestas para fins comerciais manejadas, que sequestram C da atmosfera e, ainda, incorpore C no solo através da deposição de serapilheira. Como alternativa de reflorestamento seria a cultura da seringueira que apresenta elevado ganho ambiental, pois armazena significativas quantidades de C na biomassa e no solo (Carmo et al., 2006) e seu produto final, a borracha, também é um grande armazenador de C que é uma alternativa para substituir derivados de petróleo (Jacovine et al., 2006).

A seringueira pertence ao gênero *Hevea* (família euphorbiaceae), com 11 espécies, é uma árvore de hábito ereto, podendo atingir 30 m de altura total sob condições favoráveis (Lorenzi, 2000). A *Hevea brasiliensis* é a mais produtiva e plantada comercialmente, com superior qualidade de látex, o gênero *Hevea* é originário da região amazônica, inicia aos 4 anos a produção de sementes, e aos 7 anos a produção de látex. Esta pode se prolongar por 30-35 anos, com aproveitamento de madeira para processamento mecânico e energia ao final de seu ciclo (IAPAR, 2014).

A heveicultura é o nome que define o plantio de seringueiras para a extração do látex e posterior produção da borracha natural. O látex é fonte de matéria-prima para uma grande quantidade de artefatos de borracha, como pneus, luvas cirúrgicas e calçadas, sendo apenas alguns dos segmentos onde a borracha é empregada, o que demonstra a influência do segmento. O mercado vem apresentando desequilíbrio entre a demanda e a oferta de borracha natural. Há tendência de déficit de borracha natural, que pode alcançar cerca de 1,8 milhão de toneladas em 2020, em função do crescimento acelerado de países emergentes, como o Brasil, Índia e China (IRSG, 2013).

No Brasil é produzido pouco mais de um terço do necessário da demanda de borracha natural. Em 2011 foram cerca de 166 mil toneladas, correspondendo a 1,5% da produção mundial. O déficit de matéria-prima no mercado interno ocorre pela falta de investimento em novos plantios. Se considerar uma taxa de crescimento médio do consumo de 5% ao ano, a demanda deverá ser de 600 mil toneladas até o final desta década. Porém, a produção dificilmente ultrapassará 200 mil toneladas no ritmo atual (Painel Florestal 2014).

Para suprir a demanda futura de borracha natural, tem-se como principal fator impeditivo a limitação da expansão dos plantios de seringueira nos países localizados no Sudeste Asiático principais produtores e exportadores. Entretanto, o Brasil é o país com maior potencial para expansão da heveicultura, por possuir área disponível e apta para o cultivo da seringueira, sem a necessidade de novos desmatamentos (Painel Florestal 2014).

O plantio de espécies florestais de ciclo longo, cuja exploração econômica não está voltada aos produtos madeireiros, a exemplo da seringueira, apresenta vantagens comparativas em relação às espécies de ciclo curto e que são plantadas com a finalidade de explorar a sua madeira. Além de estocar o carbono por um período de tempo maior, é esperado que o carbono permaneça estocado por mais tempo na vegetação (Cotta et al., 2008).

Entretanto, mudanças no uso do solo devem ocorrer com um manejo adequado para que não altere a biota do solo causando prejuízos para a capacidade de manter a produtividade das plantas, estoque de C, ciclagem de nutrientes e a sustentabilidade dos ecossistemas.

Portanto, esse estudo teve como hipóteses que a cultura da seringueira no estado do Rio de Janeiro pode sequestrar quantidades significativas de carbono na biomassa, e que esta pode ser utilizada para reflorestamento de pastagens degradadas.

Para avaliar essas hipóteses, esta tese foi dividida em 3 capítulos com diferentes objetivos:

O capítulo I teve como objetivo: avaliar a fertilidade do solo, o estado nutricional, o estoque de serapilheira e o teor de macronutrientes no estoque de serapilheira em plantio de diferentes clones de seringueira na Baixada Litorânea do estado do Rio de Janeiro.

No capítulo II, foram avaliados os estoques de carbono na biomassa e no solo além das frações químicas e físicas da matéria orgânica do solo em plantio de diferentes clones de seringueira localizados na região da Baixada Litorânea do estado do Rio de Janeiro.

O capítulo III teve como objetivo avaliar a adição de nutrientes via estoque de serapilheira, a fertilidade do solo, o estoque de C e a dinâmica da matéria orgânica, os atributos microbiológicos e atividade enzimática em áreas com diferentes usos no município de Silva Jardim – RJ.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Características Botânicas da Seringueira

A seringueira, árvore que produz a borracha natural, pertence ao gênero *Hevea* e a família das Euforbiaceas podendo chegar até 30 metros de altura e ter diâmetro de tronco entre 30 e 60 cm. Todas as espécies são lenhosas e de hábito decíduo, com sistema radicular pivotante e caule ereto. Originária da região Amazônica pode ser encontrada naturalmente nos estados do Acre, Amazonas, Rondônia, Pará e em áreas vizinhas do Brasil, no Peru e na Bolívia. Deste gênero são pertencentes 11 espécies, destacando a *Hevea brasiliensis*, pela sua maior capacidade produtiva e variabilidade genética (Lorenzi, 1998).

A seringueira é uma planta dicotiledônea monóica, com flores masculinas e femininas em uma mesma inflorescência, são flores unissexuadas dispostas em racimo e inflorescência do tipo cacho. A época de floração varia de acordo com as condições climáticas da região onde está localizado o seringal. As folhas são longamente pecioladas e repartidas em três folíolos (composta trifoliolada). O fruto é uma cápsula grande que, normalmente, apresenta três sementes (Lorenzi, 1998).

De acordo com Carmo et al. (2004), as sementes de seringueira são geralmente grandes, com tegumento duro e brilhante com coloração marrom e manchas escuras, apresentam um período de viabilidade muito curto, principalmente quando ficam expostas às condições ambientais, sem qualquer proteção, e devem ser semeadas logo que colhidas.

As espécies do gênero apresentam a particularidade de ocorrer o cruzamento natural e artificialmente, característica desejável e importante nos programas de melhoramento para obtenção de novos clones mais produtivos, mais resistentes às doenças e mais adaptados às condições edafoclimáticas (Carmo et al., 2004).

### 2.2 Exigências Climáticas

#### 2.2.1 Temperatura

O desenvolvimento da seringueira é ideal em locais onde a temperatura anual média é superior a 20°C, e os limites favoráveis à fotossíntese estão entre 27 a 30°C. A cultura da seringueira apresenta susceptibilidade a temperaturas baixas, em especial na fase jovem, até os dois anos de idade onde ocorrem danos letais causados pela geada nas folhas. Em temperaturas abaixo de 10°C, o crescimento das plantas é nulo. Em função da pequena tolerância a baixas temperaturas, os plantios não devem ser feitos em localidades com altitudes elevadas (Naime et al., 2009).

Porém, de acordo com Camargo et al. (2003), a cultura da seringueira vem se adaptando em áreas que antes eram consideradas frias, e também não ocorrendo incidências do “mal-das-folhas” doença causada por um fungo *Microcyclus ulei* que causa prejuízos a produção de borracha, com temperaturas médias anuais maior que 18°C.

#### 2.2.2 Fatores hídricos

Segundo Naime et al. (2009) para que o seringal obtenha sucesso na produção, a região em que ele está implantado deve apresentar evapotranspiração real anual (ER) > 900mm; deficiência hídrica anual (Da) < 200 mm e umidade relativa do mês mais seco (URs) entre 50 e 75%. Em relação à água disponível, Camargo et al. (2003), relatam que deficiências



hídricas de até 300 mm anuais e solos profundos proporcionam condições hídricas favoráveis à cultura. Os autores ainda relatam que áreas com deficiência hídrica entre 300 e 500 mm apresentam condições marginais para a cultura e deficiência hídrica acima de 500 mm anual é considerada inapta à cultura.

### **2.2.3 Exigências quanto ao solo**

Segundo Carmo et al. (2004), enquanto a cultura da seringueira estava restrita às condições da Amazônia, com altas precipitações pluviométricas bem distribuídas durante o ano, o solo não era um fator limitante quanto a produção da borracha natural. No momento em que a cultura começou a ser implantada fora da região amazônica, se deslocando para o sudeste, onde o período seco é bem definido, o solo passou a ser de extrema importância para o desenvolvimento da cultura.

Estudos como os de Carmo & Figueiredo (1985); Bataglia et al.(1987) e Cunha et al. (2000), avaliaram a influência do solo no desenvolvimento de seringais e enfatizaram a importância da classe de solo no crescimento e produção da cultura. A seringueira é uma planta exigente em classes de solos que apresentem boas propriedades físicas, requerendo solos profundos, porosos, bem drenados, de textura argilosa e com boa retenção de umidade. As condições físico-hídricas são de extrema importância, considerando que a planta necessita retirar do solo uma grande quantidade de água para suportar uma produção de látex que chega a conter 68% de água.

Os plantios de seringueira em regiões com distribuição irregular de chuvas e que apresentam um déficit hídrico acentuado, como é o caso do estado do Rio de Janeiro, este aspecto é de grande relevância para assegurar um bom desenvolvimento do sistema radicular e, conseqüentemente, um suprimento adequado de água para as plantas (Carmo et al., 2004).

## **2.3 Histórico e Perspectivas para a Heveicultura no Brasil**

O cultivo da seringueira teve seu início quando o látex extraído de seu caule se tornou a principal fonte da borracha natural no mundo em meados do século XVIII (CIF, 2012). A produção nacional de borracha logo passou a abastecer todo o comércio internacional de 1879 a 1912. Todo capital gerado com as exportações de borracha trouxe muita riqueza e desenvolvimento para a região norte do Brasil e destaque das cidades de Manaus, Belém e Rio Branco, além da colonização do Acre, então território da Bolívia (Leão, 2000).

O ciclo da borracha no Brasil começou a decair a partir do momento em que pesquisadores ingleses levaram sementes de seringueira para a Inglaterra e fizeram a sua propagação. As mudas produzidas pelos ingleses foram levadas para suas colônias na Malásia, onde apresentaram um bom desenvolvimento (Leão, 2000). O modelo de produção de borracha natural adotado na Malásia fez com que em 1913, a sua produção fosse de 47 mil toneladas contra 37 mil toneladas do Brasil. Com uma menor produção de borracha no Brasil, as exportações foram declinando, até que no início de 1950 foi finalizada (Pereira, 2000).

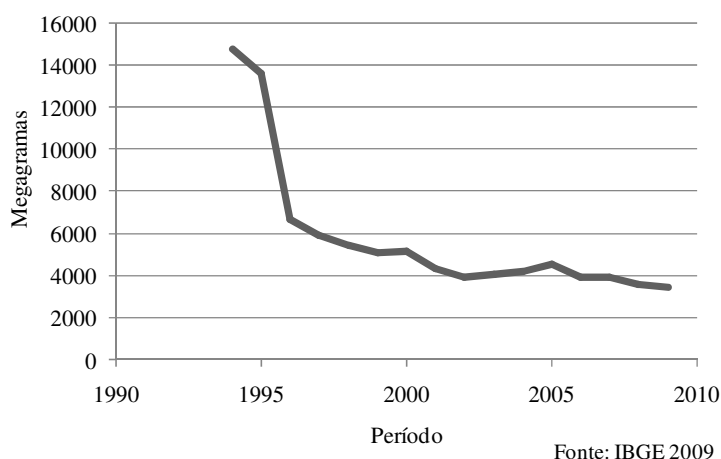
O sucesso de produção de borracha da Malásia e o domínio do mercado mundial foram favorecidos pela forma comercial com que os plantios foram feitos, com espaçamentos pré-estabelecidos, além da ausência do “mal-das-folhas”, doença causada por um fungo que prejudicava a produção de borracha. Já no Brasil, o sistema de produção era de forma extrativista e sem muitos investimentos em pesquisas (Borracha Natural, 2012).

Com a decadência da produção e exportações no país o governo, na década de 60, deu início a ambiciosos planos para expandir a produção. Segundo Pereira (2000) nos anos de 70 e 80 o país investiu mais de US\$ 1 bilhão para implantação da cultura da seringueira na

Amazônia. Mas o mesmo autor relata que a cultura não obteve sucesso devido ao ataque do fungo *Microcyclus ulei*, causador do “mal-das-folhas”.

A alternativa para minimizar os efeitos causados pelo mal-das-folhas foi adotar o sistema de produção de borracha natural em áreas de escape, onde era desfavorável a proliferação do fungo e favorável ao crescimento da seringueira, essas áreas foram escolhidas por possuírem clima seco e definido no período de troca das folhas da seringueira (Ferreira, 1989).

A produção anual de borracha natural no Brasil vem apresentando um decréscimo constante a partir da década de 90 até a atualidade, conforme os dados do (IBGE, 2009), indicados na (Figura 1).



**Figura 1.** Produção de borracha natural brasileira.  
**Fonte:** (IBGE 2009).

Entretanto, os seringais que foram implantados fora da região Amazônica obtiveram sucesso de produção e com isso, ocorreu um aumento na produção nacional de borracha sendo ainda pequena quando comparada com a dos países asiáticos (CIF, 2012). Segundo Cortez (2012) em 2005 o consumo de borracha natural no Brasil foi de 320 mil toneladas e que a perspectiva de consumo de borracha natural no país seja de 1 milhão de toneladas em 2030.

De acordo com (ABRAF, 2012), devido ao aumento da demanda por borracha natural no Brasil, está ocorrendo uma ampliação das áreas destinadas ao plantio de seringueira para a produção de látex. Os dados das áreas plantadas estão indicados na (Tabela 1).

**Tabela 1.** Plantios de Seringueira no Brasil para produção de borracha natural.

Período	Área Plantada (mil hectares)
2005	67,9
2006	81,3
2007	85,8
2008	129,9
2009	128,5
2010	159,5

**Fonte:** ABRAF 2012.

Segundo dados divulgados pela CONAB (2012), 90% da produção mundial de borracha está localizada nos países do Sudoeste Asiático, principalmente na Malásia, Tailândia e Indonésia. O Brasil é hoje o 9º produtor mundial, sendo que a produção nacional está concentrada nos estados de São Paulo (34%), Mato Grosso (29%) e Bahia (15%).

Os primeiros plantios da cultura da seringueira no estado do Rio de Janeiro tiveram início a partir da década de 80, com incentivos do governo federal, através do programa PROBOR III. Recentemente, a partir do ano de 2003, através da aprovação de um projeto de pesquisa e desenvolvimento com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, ocorreu a retomada dos estudos e implantação da cultura no estado (Pesagro-RJ, 2012).

Segundo Carmo et al. (2004) a escolha de clones mais adaptados e produtivos para as condições edafoclimáticas locais levaria a maior produção de látex. Devido a longevidade do ciclo de produção, a exploração econômica da seringueira oferece vantagens na cadeia de produção por depender de mão-de-obra muitas das vezes familiar que seria uma forma de combate ao êxodo rural, além de propiciar ganhos ambientais como utilização de pastagens degradadas tornando uma alternativa de proteção do solo contra os processos erosivos.

Para Morceli (2012), novas plantações de seringueira são uma boa alternativa para agricultores localizados próximos a regiões consumidoras e seria muito importante que a cadeia produtiva de látex acrescentasse à produção uma maior valorização econômica como o pagamento de serviços ambientais pelo sequestro de C na biomassa, no solo, proteção do solo contra erosão e produção de água.

## **2.4 Zoneamento da Heveicultura no Estado do Rio de Janeiro**

A aptidão de uma região para a implantação de determinada cultura é definido pelo meio físico onde, dois fatores, são determinantes para essa escolha, o climático e o pedológico. O fator climático é o primeiro a ser definido. Em seguida são levantadas as condições do fator solo onde surge a maior variabilidade espacial, (Camargo et al., 2003).

De acordo com Cecilio et al. (2006) as informações sobre o ambiente admite selecionar as culturas mais adaptadas e as épocas mais indicadas para o plantio. A implantação de determinada cultura e posterior manejo produtivo só será possível se a região atender a exigências edafoclimáticas para o desenvolvimento da cultura (Yamada, 2011).

Pereira et al. (2002) definem o zoneamento agroclimático como a arte de selecionar a espécie mais indicada para certa região e preconizam que esta seleção da espécie e ambiente é o primeiro aspecto a ser considerado quando irá se realizar implantação de uma cultura. Os autores supracitados propõem que o zoneamento agroclimático deve ser sempre atualizado com a adoção de novas metodologias para a investigação científica e melhoramento genético com culturas mais resistentes e com melhor aproveitamento de nutrientes, buscando novas áreas para o cultivo, ampliando a aptidão das áreas, e retorno financeiro para o produtor.

As condições climáticas podem beneficiar ou ser um fator limitante quanto ao desenvolvimento, manejo e produção de culturas. Na heveicultura em determinadas condições climáticas à ocorrência do “mal-das-folhas” e isto é um agravante para plantios localizados na região equatorial do Brasil (Lieberei, 2007).

O zoneamento de áreas onde o clima é desfavorável ao desenvolvimento do fungo que ataca os plantios de seringueira e causa danos a produção é uma alternativa, onde são definidas áreas de escape livres da incidência da doença (Furtado & Trindade, 2005). Segundo Campanharo et al. (2011) a identificação das áreas de escape é feita com muita segurança, quando se conhece o clima da região e se utiliza de sistemas de informações geográficas para a correta definição das áreas mais indicadas para a implantação da heveicultura.

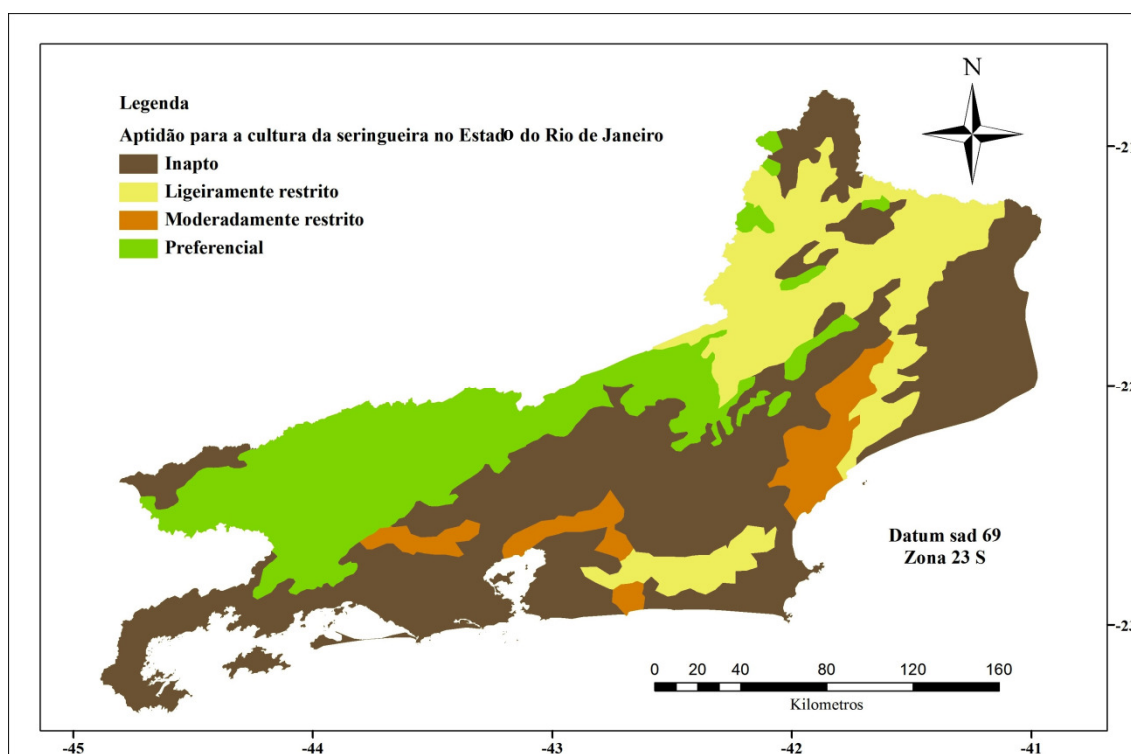
O zoneamento climático da Heveicultura no estado do Rio de Janeiro proposto por Naime et al. (2009) teve como base os aspectos climáticos apresentados na Tabela 2. Para a complementação foram utilizados dados da fitofisionomia da vegetação natural e os aspectos de solo e relevo das regiões, além de conceitos do Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras, considerando-se a utilização no nível tecnológico médio (manejo B), constante na avaliação da aptidão agrícola do estado (Ramalho & Beek, 1995).

**Tabela 2.** Valores dos parâmetros climáticos utilizados para a distinção das classes de aptidão para a seringueira propostos por (Naime et al. 2009).

Classe	ER (mm)	Da(mm)	Ta (°C)	Tf (°C)	Im
Preferencial	> 900	< 200	> 18	15 a 20	< 60
Ligeiramente restrita	> 900	200 a 400	> 18	> 20	< 60
Moderadamente restrita	800 a 900	400 a 500	17 a 18	~ 15	> 60
Inapta	< 800	> 500	< 17	< 15	< -20

ER = Evapotranspiração real anual; Da = Deficiência hídrica anual; Ta = Temperatura média anual; Tf = Temperatura média do mês mais frio; Im = Índice hídrico de Thornthwaite.

O zoneamento da heveicultura adotou faixas de aptidão climáticas que indicavam as regiões mais aptas classificadas como preferenciais, até as regiões onde o cultivo da seringueira é restrito devido às condições de clima sendo classificadas como inaptas, conforme indicado na (Figura 2).



**Figura 2.** Áreas com aptidão para a implantação da cultura da seringueira no estado do Rio de Janeiro.

**Fonte:** Modificado de Lumbreras et al. (2004).

O zoneamento da cultura da seringueira realizado por (Naime et al., 2009) foi elaborado considerando os aspectos climáticos, de potencial de uso dos solos e a legislação ambiental. Os autores relatam que as áreas preferenciais para a cultura da seringueira, juntamente com os remanescentes de Mata Atlântica, perfazem 21.861,39 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 50% da superfície do estado. Os solos preferenciais para a implantação da cultura da seringueira no estado do Rio de Janeiro segundo Naime et al. (2009) são os que ocorrem em áreas com declives inferiores a 20%, apresentando impedimento moderado à mecanização e baixa suscetibilidade à erosão. De acordo como o autor, o estado do Rio de Janeiro possui condições térmicas e hídricas satisfatórias para a cultura da seringueira, sendo que a área de terras desmatadas corresponde a 5.332,54 km<sup>2</sup> referentes a 12,21% da área do estado e 2.150,41 km<sup>2</sup> (4,92%) de remanescentes de Mata Atlântica.

Os autores concluem que o estado do Rio de Janeiro possui 8.159,18 km<sup>2</sup> de terras com condições térmicas e hídricas satisfatórias para o desenvolvimento da cultura da seringueira o que corresponde a 18,68% da área total do estado. Com isso, devido à importância social, econômica e ambiental, o cultivo da seringueira é uma alternativa de valorização econômica para áreas degradadas e de relevo acidentado do estado.

## **2.5 Histórico de Nutrição Mineral na Cultura da Seringueira**

No extremo oriente, a primeira tentativa de adubação na seringueira foi realizada em 1903, vinte e cinco anos após a instalação das primeiras plantações. Em 1916 a prática da adubação da cultura estava difundida apenas no Ceilão, o primeiro país a cultivar a seringueira. Recomendações precisas de adubação surgiram mais tarde, com as pesquisas iniciadas pelo Instituto de Pesquisas da Borracha da Malásia, em 1936 (Reis et al., 1984).

De acordo com Viégas & Carvalho (2000), até meados da década de 60 as pesquisas em áreas técnicas na cultura da seringueira, como a nutrição e adubação eram escassas e os sistemas de produção adotados no Brasil até o momento, eram baseados em pesquisas que foram desenvolvidas em sistemas de produção de países asiáticos, sem os ajustes necessários para as nossas condições de clima e solo. O crescimento das plantas era muito afetado devido às aplicações de adubações que eram realizadas sem nenhum tipo de estudo preliminar, assim as plantas apresentam um desequilíbrio bioquímico da cultura.

Os trabalhos com nutrição em seringueira no Brasil foram incentivados, a partir de 1983, pela antiga Superintendência da Borracha (Sudhevea), com pesquisas conduzidas nos estados de São Paulo, Amazônia e Minas Gerais, mas com a extinção do Centro Nacional da Pesquisa da Seringueira e da Sudhevea, ocorreu à desativação das pesquisas com seringueira (Viégas et al., 2000).

Segundo Bataglia et al. (1988), nos países produtores de borracha na Ásia, o levantamento do estado nutricional em seringais é bastante comum. Na Malásia, tais levantamentos, tanto de solos como de folhas, têm servido de base para a recomendação de adubação, de acordo com o tipo de solo e com o estado de nutrição das plantas.

No Brasil, os plantios de seringueira estão localizados em diversas regiões do país, desde o norte do Paraná, até a Amazônia. A maioria das recomendações de adubação são generalizadas, baseando-se em extrapolações feitas a partir de áreas semelhantes, baseadas em resultados preliminares de pesquisas (Pereira et al., 2000).

Em um estudo que teve como objetivo avaliar o estado nutricional de 40 seringais em produção no estado de São Paulo, Bataglia et al. (1988) chegaram as seguintes conclusões: a diversidade de situações ecológicas onde estão instalados os quarenta seringais estudados teve efeito marcante sobre o estado nutricional das plantas; com poucas exceções, tais solos

continham teores muito baixos de P e, alguns, teores baixos de K, principalmente na região litorânea do estado; os seringais menos produtivos se localizaram em solos que apresentaram, em média, teores mais baixos de K e acidez mais elevada; a produtividade aparentemente foi menor em função dos níveis mais baixos de N e K, nas folhas. Em função do exposto é preciso acompanhar o estado nutricional desses dois nutrientes durante a fase de produção para que sejam feitas as reposições via fertilização para a produção se mantenha com resultados satisfatórios.

A recomendação de adubação nas fases de desenvolvimento da seringueira (mudas, formação e produção) depende da experimentação que tem um caráter muito regional uma vez que as respostas são muito dependentes das condições edáficas e do ambiente local.

A seringueira é originária de uma região onde os solos apresentam baixa fertilidade natural, porém têm boas características físicas, como profundidade, porosidade e permeabilidade. Apesar de cultivada em regiões de solos pobres foi notado melhor desenvolvimento e aumento de produtividade quando corrigidas as deficiências nutricionais do solo via fertilização (Bataglia, 1987). Por isso a necessidade de retomar estudos com adubação para a cultura principalmente nas regiões de expansão da cultura.

## **2.6 Respostas da Cultura da Seringueira à Aplicação de Fertilizantes**

### **2.6.1 Resposta à adubação na fase de desenvolvimento**

Na fase de formação do seringal a redução do período de imaturidade é fundamental. É preciso ainda considerar a especificidade da função de cada nutriente na formação de copas resistentes à ação dos ventos, melhor estrutura anatômica do sistema laticífero (Bataglia & Santos, 1998). O período de imaturidade é definido como o período necessário para que 50% das plantas tenham atingindo perímetro do caule igual ou superior a 45 cm e assim pode ser iniciada a exploração do látex, é uma característica importante, pois determina o início do retorno dos investimentos aplicados para a formação do seringal (Bataglia & Santos, 1998).

Os efeitos da adubação N, P e K sobre o período de imaturidade de um seringal foi estudado por Bataglia et al. (1998). Neste estudo foi possível delinear algumas tendências, como a redução do período de imaturidade com o aumento das doses de adubação potássica, porém com forte interação com a adubação nitrogenada. Também foi constatado no trabalho que ocorre um retardamento no período de imaturidade do seringal quando é aplicada a dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N juntamente com as doses de 80 ou 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Os autores fazem uma comparação entre o tratamento de pior desempenho (0 kg de N de ha<sup>-1</sup>, 80 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> e 120 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) com o melhor tratamento (120 kg de N de ha<sup>-1</sup>, 120 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> e 120 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) e chegam à conclusão de que a diferença no período de imaturidade chegou a 12 meses dependendo da adubação usada de forma correta ou incorreta. Os efeitos da adubação com N e K sobre a redução do período de início de exploração do látex foi estudado por Bataglia et al. (1999) em seringais no estado de São Paulo onde foram testadas as doses de 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N e K<sub>2</sub>O.

A adubação potássica foi essencial para garantir a antecipação do início da fase produtiva. Na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O ocorreu uma redução no período de imaturidade de 8 meses das plantas. Porém, a maior dose de N provocou uma redução na porcentagem de plantas aptas à sangria e, em consequência, elevaram o período de imaturidade.

A nutrição mineral de seringueiras foi avaliada durante 7 anos por Bataglia & Santos (1999) após serem aplicadas doses crescentes de fertilizantes (0, 40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O). A adubação nitrogenada teve marcante efeito na nutrição da seringueira, sendo que na idade de 5 anos ocorreu 11,7% de aumento dos teores de N nas folhas em função das doses crescentes de fertilizante aplicadas. Porém a fertilização nitrogenada ocasionou um

decréscimo dos teores de K e S nas doses mais altas de N, possivelmente pelo efeito de diluição verificado por causa do maior crescimento das árvores, promovido pela fertilização nitrogenada.

Os efeitos da adubação NPK associada à calagem no estado nutricional de plantio de seringueira com 16 anos de idade no estado de São Paulo foi o objetivo de estudo de Virgens Filho et al. (2001). Neste estudo foram aplicadas as doses de 40 e 80 kg ha<sup>-1</sup> de N; 17,5 e 35,0 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 33,2 e 66,4 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. A aplicação de calagem foi até a saturação de 50% das bases e o estado nutricional das plantas foi avaliado durante três anos. De acordo com os autores no início do experimento os teores de K nas plantas estavam adequados, já os nutrientes N, P e S estavam abaixo da faixa adequada, os teores de Ca e Mg estavam acima da faixa adequada. No terceiro ano, com exceção do N, todos os nutrientes estavam na faixa adequada indicando que as doses de N aplicadas não foram suficientes para aumentar o teor nas folhas. Os teores de P e S nas folhas só foram incrementados quando foi aplicada a calagem junto com a adubação. O nível de P nas folhas foi maior quando ocorreu ausência de K na adubação com 80 kg ha<sup>-1</sup> de N, e 35,0 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Em relação ao Ca e Mg, Virgens Filho et al. (2001) relatam que esses nutrientes só passam a ser mais requeridos à partir do 4º ano, 11,06 kg ha<sup>-1</sup> de Ca e 5,30 kg ha<sup>-1</sup> de Mg. Esse fenômeno ocorre porque é nesta fase em que a seringueira modifica seu ritmo de crescimento, passando a desenvolver flores e frutos e assim exigindo mais nutrientes (Viégas et al., 1988).

Os efeitos da adubação NPK associada à calagem e S durante seis anos foram avaliados por Reis & Melo (1987) no estado da Bahia. Foram aplicadas as doses de 70 e 140 kg ha<sup>-1</sup> de N; 80 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, além do controle sem adubação para todos os elementos. O S foi aplicado em uma única dose que correspondeu a 60 kg ha<sup>-1</sup> e 1500 kg ha<sup>-1</sup> de calcário. No final de seis anos chegou-se a conclusão de que o N e o K aplicados não proporcionaram nenhum desenvolvimento significativo de tronco e espessura da casca. Entretanto a adubação fosfatada já no primeiro ano com a dose de 26 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> já apresentou desenvolvimento significativo de tronco, no 2º, 3º e 4º anos a dose que melhor desenvolveu as plantas foi a de 45 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e no 5º ano foi à dose de 112 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. A adubação com S só foi significativa nos dois primeiros anos, o efeito da calagem só foi significativo no 3º e 4º anos, período em que a planta requer mais nutrientes para a produção de frutos e sementes de acordo com Viégas et al. (1988).

Carvalho et al. (2000) relatam que a prática da calagem não produz incrementos significativos de crescimento e produtividade na cultura da seringueira, esse efeito segundo os autores podem estar associados ao fornecimento de Ca e Mg em quantidades suficientes nos solos de Ca quando é utilizado fertilizantes fosfatados que fornecem Ca (superfosfato triplo e superfosfato simples).

### **2.6.2 Resposta à adubação na fase de produção**

Na fase produtiva, produtividade e qualidade do látex são os principais objetivos. Murbach (1997) em um estudo do efeito da adubação NPK na produtividade de borracha seca, em solo arenoso, verificou respostas de produtividade ao potássio atingindo um máximo de produtividade na dose de 155 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. O autor verificou que a aplicação de doses crescentes de K elevou tanto os teores de K no solo como nas folhas a níveis acima do necessário para o máximo de produtividade.

A produtividade em seringais no estado de São Paulo após aplicação de adubação NPK foi estudada por Bataglia e Santos (1998). Foi observado no estudo um comportamento bastante diverso para os efeitos dos nutrientes N, P e K sobre a produtividade. A adubação potássica, na dose de 80 kg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> foi a que promoveu as maiores produtividades

promovendo incrementos de 10 a 19%. O N e o P apresentaram reduções de 5% quando aumentou a dose de 40 kg para 120 kg ha<sup>-1</sup> de N e P.

O efeito da adubação potássica na produção de borracha seca da seringueira foi o efeito de estudo de Murbach et al. (1999) no estado de São Paulo. A aplicação da dose de 160 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O nos meses de abril a junho causaram um aumento significativo na produtividade de borracha seca (155 kg ha<sup>-1</sup>) e após este nível ocorreu um decréscimo de produção na faixa de 50%.

A produção de borracha seca foi avaliada por Virgens Filho et al. (2001) sob a aplicação de diferentes doses de adubação NPK associada à calagem em plantios de seringueira com 16 anos de idade no estado de São Paulo. Foram testadas as doses de 40 e 80 kg ha<sup>-1</sup> de N, 17,5 e 35,0 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 33,2 e 66,4 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. A aplicação de calagem foi até a saturação de 50% das bases.

Após três anos foi concluído que as doses de N aplicadas não foram suficientes para deixar os níveis desse nutriente satisfatórios nas folhas, já o P somente com a aplicação da menor dose foi suficiente para deixar os níveis adequados nas folhas e o K já no início do experimento já apresentou níveis satisfatórios nas folhas, indicando que a seringueira mostrou-se eficiente na absorção desse elemento no solo. Em relação à produção de borracha ocorreu um aumento de 30,7% na produção no segundo ano, sendo o melhor tratamento de 40 Kg de N, 35 Kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 33 K<sub>2</sub>O que foi aplicado a calagem; esses corresponderam 9, 19,2 e 24,7% sobre a testemunha absoluta.

O estado nutricional de 25 seringais do clone IAN 873 com 14 anos de idade implantados na Zona da Mata, em Minas Gerais, foi avaliado por Carmo et al. (2002) visando contribuir com um programa racional de adubações para a cultura. Os resultados evidenciam que existe um grande desbalanço nutricional nos seringais onde a maioria (80%) está apresentando deficiência de N e K que está refletindo na produção de borracha seca.

Os autores relataram que altos teores de cálcio e magnésio no solo e nas folhas causaram reflexos negativos na produção de borracha, sugerindo redução da calagem e da adubação contendo os dois nutrientes. A análise foliar dos seringais evidenciou desequilíbrios nutricionais, principalmente, no que se refere aos baixos teores de N e K, apresentando redução na produção de borracha seca.

O efeito da aplicação superficial de calcário no solo na produtividade de borracha seca foi avaliado por Roque et al. (2004) durante dois anos no estado de São Paulo. Os autores aplicaram doses de calcário considerando a saturação por bases recomendadas para a cultura, igual a 50%. A produtividade máxima esteve associada à saturação por bases de 57% com valores de 1,55 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário.

## **2.7 Estoque de Carbono na Biomassa Florestal**

As florestas apresentam extrema importância dentro do contexto das emissões de CO<sub>2</sub>, pois se tem levado em consideração como medida compensatória de emissão de gases de efeito estufa. É de consenso científico mundial que as florestas são importantes para o equilíbrio de carbono global, pois armazenam nas árvores e no solo mais carbono do que o que existe atualmente na atmosfera (Houghton, 1995).

Em função da grande diversidade de florestas que estão inseridas nos mais diferentes ambientes, que possuem amplas variações edafoclimáticas, a estocagem de C na biomassa pode ocorrer de maneira diferenciada, essa afirmativa é fundamentada nas metodologias aplicadas para se obter estimativas da biomassa florestal onde é mensurada a parte aérea da planta (Watzlawick et al., 2005).



De acordo com Brown & Lugo (1992), a fixação de carbono, durante o ciclo de crescimento da floresta, é representada pelo incremento na biomassa, dos produtos madeireiros e não madeireiros, os quais têm diferentes dinâmicas de crescimento.

O balanço de C em florestas da Mata Atlântica na região norte do estado do Rio de Janeiro, foi realizado por Cunha et al. (2009) onde foram quantificados os estoques de C (parte aérea + serapilheira) em fragmentos florestais. O valor médio de biomassa (parte aérea + serapilheira) foi de 166,8 Mg ha<sup>-1</sup>.

De acordo com Fernandes et al. (2007) além do tradicional reflorestamento com culturas implantadas no Brasil, como o eucalipto, outras espécies apresentam considerável potencial de sequestrar significativas quantidades de carbono da atmosfera e alocar na biomassa, como por exemplo a seringueira, com incrementos médios de 3,1 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de C (Jacovine et al., 2006).

A seringueira apresenta elevado ganho ambiental, pois armazena significativas quantidades de C na biomassa (Carmo et al., 2006) e seu produto final, a borracha, também é um grande armazenador de C e, ainda, substitui a utilização de derivados de petróleo (Jacovine et al., 2006). Estudos demonstraram a eficiência da seringueira em estocar o carbono atmosférico em quantidades equivalentes a de uma floresta natural (Rahaman & Sivakumaram 1998, Cheng et al. 2007).

No Brasil, existem estudos que quantificaram os estoques de C na biomassa em plantios de seringueira, eucalipto e mata nativa em diferentes idades (Tabela 3).

**Tabela 3.** Estoque de carbono na biomassa florestal.

<b>Referência</b>	<b>Espécie</b>	<b>Idade (anos)</b>	<b>Estoque de C</b>
Carmo et al. 2004	Seringueira	21	72,8
Oliveira et al. 2006	Seringueira	15	90,0
Fernandes et al. 2007	Seringueira	12	62,1
Cotta et al. 2008	Seringueira	34	84,7
Maggiotto et al. 2014	Seringueira	15	79,3
Paixão et al. 2006	Eucalipto	6	62,4
Coutinho 2009	Eucalipto	4	34,1
Gatto et al. 2010	Eucalipto	7	64,1
Lima et al. 2006	Mata	34	64,0
Coutinho 2009	Mata	35	45,4
Ribeiro et al. 2010	Mata	30	19,5

Assim a cultura da seringueira se torna mais uma alternativa de reflorestamento em áreas de pastagens degradadas e ser utilizada como ferramenta de serviço ambiental sequestrando C em sua biomassa.

## **2.8 Estoque de Serapilheira Florestal**

A serapilheira é o material vegetal que é depositado sobre o solo das florestas e pode ser definida como todo tipo de material biogênico em vários estádios de decomposição (Brun et al., 2001). O material formador da serapilheira é constituído por folhas, cascas, ramos, material reprodutivo (flores, inflorescências, frutos e sementes) além de fragmentos vegetais não identificáveis que são depositados na superfície do solo (Cianciaruso et al., 2006). Esse material é utilizado como fonte de energia para os organismos que vivem no solo (Brun et al., 2001), sendo um componente primordial no processo de ciclagem e de liberação de nutrientes nos solos florestais (Arato et al., 2003) e aporte de matéria orgânica (Pandey et al., 2007),

capaz de abrigar a fauna e microrganismos decompositores dos ecossistemas (Facelli & Facelli, 1993).

A produção de serapilheira pode ser influenciada por diversos fatores bióticos e abióticos ao longo do ano, dentre eles destacam-se o tipo de vegetação, o estágio sucessional, característica de deciduidade, latitude, altitude, relevo, temperatura, precipitação, disponibilidade de luz, fotoperíodo, evapotranspiração, tipos de solos, entre outros (Brun et al., 2001; Vital et al., 2004; Castanho, 2005; Fernandes et al., 2006).

Vários estudos demonstraram que dentre os componentes da serapilheira, um dos principais constituintes são as folhas, que podem contribuir com mais de 70% do material aportado ao solo (Figueiredo-Filho et al., 2003; Menezes, 2008; Machado 2011), o que evidencia a importância desse compartimento na devolução de nutrientes ao piso florestal.

Desta forma, a taxa de acumulação de serapilheira sobre o solo pode constituir um diferencial na restauração florestal espontânea, exatamente quando as plantas mais necessitam de nutrientes para facilitar a entrada de espécies de grupos sucessionais mais avançados e mais exigentes em relação a condições ambientais (Gonçalves et al., 2003).

O estoque de serapilheira é controlado pela taxa de decomposição sendo esse processo considerado um dos mais importantes da ciclagem de nutrientes nos ecossistemas florestais e definido como a decomposição gradual do material orgânico que é estocado no solo (Montagnini & Jordan, 2002). O estoque de serapilheira em plantios de clones de seringueira com 15 anos de idade na Zona da Mata mineira foi avaliado por Kindel et al. (2006), os autores quantificaram respectivamente 1,0 e 1,4 Mg ha<sup>-1</sup> de serapilheira com os clones IAN 873 e RRIM 600.

As folhas, galhos e sementes que caem das seringueiras são a principal fonte de nutrientes que retornam para o solo nos plantios. Em fase de produção as plantações de borracha podem estocar em média 3,0 Mg ha<sup>-1</sup> de serapilheira retornando ao solo em média 68; 5; 15 e 14 kg ha<sup>-1</sup> de N, P, K e Mg (Medrado et al., 1991).

Em plantios de seringueira ainda existe carência de estudos que relatem os estoques e os teores de nutrientes da serapilheira em diferentes idades e regiões edafoclimáticas com isso é importante desenvolver novos estudos que quantifiquem esses estoques, pois a serapilheira apresenta um papel importante no processo de ciclagem de nutrientes.

## **2.9 Estoque de Carbono no Solo**

Nas regiões tropicais os ecossistemas florestais estão inseridos sobre solos que apresentam baixa fertilidade natural, assim os aportes, acúmulos e transformações da matéria orgânica são fundamentais para manutenção e melhoria das propriedades do solo bem como aumento da sua capacidade produtiva (Gonçalves et al., 2001).

A matéria orgânica do solo faz parte do ciclo do carbono e seu equilíbrio é dinâmico e estável sob solos de vegetação natural (Bortolon et al., 2009). Porém, quando ocorre a intervenção antrópica nos ecossistemas, esse equilíbrio é rompido e, normalmente, as entradas de C são menores do que as saídas, o que acarreta na redução da quantidade e alteração da qualidade da matéria orgânica (Cerri et al., 2008).

A matéria orgânica do solo compreende todos os compostos que contêm carbono orgânico no solo, dentre eles os microrganismos vivos e mortos, resíduos de plantas e animais em processo parcial de decomposição e substâncias orgânicas que foram alteradas por microrganismos ou que passaram por alterações químicas (Mielniczuk, 2008). Alterações na entrada e nas taxas de decomposição podem provocar a redução do seu conteúdo nos solos, desencadeando processos de degradação, desta forma, a fertilidade do solo e a

sustentabilidade dos ecossistemas estão ligados inteiramente à manutenção da matéria orgânica (Roscoe & Machado, 2002).

Os estoques de carbono do solo nos ecossistemas são produtos da interação entre os fatores de sua formação e aqueles relacionados à sua decomposição, a quantidade de carbono estocada no solo é determinada pelo balanço entre a produtividade primária da vegetação, com as entradas de serapilheira associadas, e a decomposição da matéria orgânica (Grace et al. 2006). As alterações causadas no solo levam o rápido declínio dos estoques de carbono, o que pode ter implicações na durabilidade do seu efeito quanto à retenção de C atmosférico contribuindo para o aumento das emissões de gases para a atmosfera (Bayer et al., 2004).

A retirada da cobertura florestal para a implantação da agricultura com adoção de práticas inadequadas de manejo promove um desequilíbrio, assim o estudo e a compreensão de sua dinâmica no solo são fundamentais para garantir um maior acúmulo no solo e assim garantir a sustentabilidade dos ecossistemas (Cardozo et al., 2010).

Uma alternativa para reverter o declínio dos teores de C nos solo seria a introdução de florestas para fins comerciais que sequestrarem C da atmosfera e ainda reduzem a erosão do solo e a perda do C do sistema (Carvalho et al., 2010). A reintrodução de espécies arbóreas manejadas em sistemas agrícolas em conjunto com outras culturas ou, animais possuem alto potencial de sequestrar CO<sub>2</sub> e apresentam a capacidade de armazenar 1,1 a 2,2 Pg de C anualmente, por mais de 50 anos (Albrecht & Kandji 2003).

Como alternativa para o uso das áreas de pastagens subutilizadas do estado do Rio de Janeiro seria a implantação da cultura da seringueira que é capaz de armazenar significativas quantidades de C no solo conforme indicado na (Tabela 4).

**Tabela 4.** Estoque de C no solo em plantios de seringueira.

Referência	Estoque (Mg ha <sup>-1</sup> )	Prof.	Idade (anos)	Localização
Portugal et al. 2008	20,6	0-20 cm	20	Brasil
Wauters et al. 2008	72,5	0-60 cm	14	Brasil
Saha et al. 2010	35,7	0-20 cm	50	India
Blécourt et al. 2013	60,0	0-60 cm	33	China
Maggiotto et al. 2014	79,3	0-60 cm	15	Brasil

Assim a cultura da seringueira seria mais uma opção de reflorestamento e poderia ser associada a outras culturas em sistemas agroflorestais gerando renda para pequenas propriedades rurais e contribuindo para o sequestro de C no solo.

## 2.10 Matéria Orgânica Leve

A matéria orgânica do solo (MOS) possui uma fração ativa, a matéria orgânica leve (MOL), que possui um tempo de residência que varia de um a cinco anos, essa fração é constituída por resíduos orgânicos de vegetais e animais parcialmente humificados em vários estádios de decomposição (Janzen et al., 1992). A MOL compreende resíduos vegetais e animais com uma classe de tamanho compreendida entre 0,25 e 2,0 mm e este material flota em água (Anderson & Ingran, 1989).

A MOL apresenta a particularidade de apresentar uma rápida dinâmica no solo representando, a curto prazo, a capacidade de ciclagem de nutrientes no sistema (Compton & Boone, 2002). A MOL tem se destacado ao responder de forma imediata ao manejo do solo (Rangel et al., 2008). Estudos como o de Pereira et al. (2010), que avaliaram os teores de COT e MOL em água, em áreas de Cerrado sob sistema de plantio direto com diferentes

cultivos e plantas de coberturas do solo, relataram a MOL como o indicador mais responsivo à interação dos efeitos dos sistemas de manejo e culturas agrícolas avaliadas, em comparação ao COT.

Os teores de MOL foram avaliados por Loss et al. (2010b) em diferentes sistemas agrícolas, e os maiores teores foram encontrados no sistema de plantio direto que mantém a palhada sobre a superfície do solo, aumentando os teores da fração leve da MOS, sendo semelhantes aos teores do sistema agroflorestal e superior aos de produção convencional.

O mesmo fenômeno foi relatado por Guareschi et al. (2012) que avaliaram os teores de MOL em sistema conservacionista no Cerrado em Goiás, comparando sistema de plantio direto com 20 anos e área de cerrado nativo. Os autores relataram que em função do tempo de adoção do sistema ocorreu aumento no aporte desta fração na camada superficial (0,0-0,05 m) para as áreas avaliadas, após 20 anos, e os teores de MOL do sistema de plantio direto foram iguais ao da área de Cerrado.

## **2.11 Fracionamento da Matéria Orgânica do Solo**

Nas regiões tropicais os ecossistemas florestais estão inseridos sobre solos que apresentam baixa fertilidade natural, assim os aportes, acúmulos de serapilheira e transformações da matéria orgânica são fundamentais para manutenção e melhoria das propriedades do solo bem como aumento da capacidade produtiva (Gonçalves et al., 2001).

Segundo Vezzani et al. (2008) a matéria orgânica é um atributo fundamental para a manutenção da qualidade do solo, estando envolvida em diversos processos químicos, físicos e biológicos. Alterações na sua entrada e nas taxas de decomposição podem provocar a redução do seu conteúdo nos solos, desencadeando processos de degradação, desta forma, a fertilidade do solo e a sustentabilidade dos ecossistemas estão ligados inteiramente à manutenção da matéria orgânica (Roscoe & Machado, 2002).

A retirada da cobertura vegetal original para a implantação de culturas aliada à adoção de práticas inadequadas de manejo promove um desequilíbrio entre o solo e o meio, tornando-o mais susceptível aos processos de degradação (Centurion et al., 2001). As alterações causadas no solo levam a um rápido declínio dos estoques de carbono, o que pode ter implicações na durabilidade do seu efeito quanto à retenção de C atmosférico contribuindo para o aumento das emissões de gases para a atmosfera. (Bayer et al., 2004).

A matéria orgânica do solo compreende todos os compostos que contêm carbono orgânico no solo, dentre eles os microrganismos vivos e mortos, resíduos de plantas e animais em processo parcial de decomposição e substâncias orgânicas (Mielniczuk, 2008). Desse modo, o estudo e a compreensão de sua dinâmica no solo são fundamentais para garantir um maior acúmulo no solo e assim poder manter a sustentabilidade dos ecossistemas e dos sistemas agrícolas. Segundo Cardozo et al. (2010) existem diversos fatores que controlam os teores de matéria orgânica, tais como a textura, o clima e o tipo de vegetação, o tipo de manejo empregado no solo, destaca-se, principalmente, devido a quantidade e a qualidade dos resíduos vegetais (Cardozo et al., 2010).

Stevenson (1994) separa a matéria orgânica do solo em diferentes compartimentos: biomassa microbiana; carbono orgânico particulado, tipicamente composto de resíduos de plantas, animais e microrganismos; carbono orgânico associado a minerais; e substâncias húmicas, as quais compreendem ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas.

Os estudos de acúmulo de carbono no solo comumente lançam mão das técnicas de fracionamento químico e físico para realizar a compartimentalização da matéria orgânica (Bayer et al., 2004). A definição do método a ser empregado segundo Collins et al. (1997), deve levar em consideração a natureza do estudo, que pode ter como finalidade, a

caracterização e identificação química de seus componentes específicos, ou a quantificação e descrição de seus compartimentos. Os teores de C das frações húmicas avaliadas através do fracionamento químico são separadas de acordo com a solubilidade dos compostos orgânicos, básico ou ácido, esses compostos englobam uma categoria de ocorrência natural, biogênica, composta de substâncias orgânicas heterogêneas que geralmente se caracterizam por coloração que pode variar de amarelada ou até tons mais escuros, com alto peso molecular e de natureza refratária (Benites et al., 2003).

O fracionamento granulométrico da matéria orgânica segundo Cambardella & Elliot (1992) consiste na separação de duas frações orgânicas: o carbono orgânico particulado (COP) e o carbono orgânico associado aos minerais (COAM). O COP é a fração da matéria orgânica separada por dispersão e peneiramento do solo associada à fração areia ( $COP \geq 53\mu m$ ), sendo caracterizado como partículas derivadas de resíduos de plantas e hifas com estruturas celulares reconhecíveis, cuja permanência no solo está condicionada à proteção física desempenhada por agregados (Golchin et al., 1994).

O COAM é a fração da matéria orgânica associada às frações silte e argila do solo ( $COAM < 53\mu m$ ), sendo definida como a fração da matéria orgânica que interage com a superfície de partículas minerais, formando os complexos organominerais, estando protegida pelo mecanismo de proteção coloidal (Christensen, 2001).

Assim, a adoção de sistemas de manejo que sejam capazes de manter e incrementar o carbono orgânico pode contribuir para a manutenção da capacidade produtiva dos solos e diminuição da emissão de  $CO_2$  para a atmosfera (Siqueira Neto et al., 2011).

## 2.12 Origem do $^{13}C$ do Solo

Na natureza existem três formas de isótopos do C, o  $^{12}C$  e o  $^{13}C$  que são estáveis ao longo do tempo e o  $^{14}C$  radioativo, o  $^{12}C$  é o mais leve e apresenta a maior proporção em relação ao total de C (98,89%) e o  $^{13}C$  mais pesado com apenas (1,11%) do total, e essas proporções se mantêm em qualquer material que apresente C na natureza (Alves et al., 2008).

De acordo com Smith & Epstein (1971) no processo de fotossíntese ocorre uma segregação isotópica que ocorre com proporções diferentes entre plantas de ciclo fotossintético C3 (maioria das florestas nativas) e C4 (gramíneas). Plantas de ciclo C3 discriminam mais o  $^{13}C$  e, por isso apresentam variações na abundância isotópica de  $^{13}C$  que variam em torno de -20 a -34‰. Já as plantas do ciclo C4 discriminam menos o  $^{13}C$  e apresentam valores que variam de -9 a -17‰.

Estudos isotópicos do carbono orgânico, baseados na técnica de abundância natural de  $^{13}C$ , viabilizam a identificação da origem do carbono estocado no perfil do solo, possibilitando identificar de qual espécie vegetal é proveniente a matéria orgânica presente no solo e qual a taxa de substituição, tornando-se uma ferramenta de grande utilidade (Lynch et al., 2006).

As determinações isotópicas são baseadas na razão  $^{13}C/^{12}C$  do carbono orgânico do solo, que contém formas de  $^{13}C$  referentes à presença ou ausência de espécies vegetais que apresentam ciclos fotossintéticos C3 ou C4 (Pessenda et al., 1998).

Nos sistemas naturais ocorre à deposição de resíduos da vegetação nativa sobre o solo e o C vai sendo incorporado ao solo, já em sistemas agrícolas a origem do C do solo tanto pode ser de resíduos da vegetação nativa ou incorporado de resíduos das culturas implantadas (Melo et al., 2003). Esse comportamento permite a quantificação das taxas de perdas do carbono derivado da vegetação original e a simultânea acumulação do novo carbono derivado da vegetação atual (Vidotto et al., 2007).

A contribuição de plantas C3 e C4 no estoque de carbono do solo, em área de pastagem e cerrado nativo, foram avaliadas por Roscoe et al. (2001), o C total do solo

apresentou 36% de carbono de plantas C4 na área de pastagem, após 23 anos da substituição do cerrado pela pastagem, para camada de (0–10 cm) e de 34 % e 19 %, para as camadas de (10–25) e (75–110 cm).

Em áreas de fragmentos florestais da Mata Atlântica em regeneração, Menezes (2008) quantificou em uma área de floresta em estágio inicial de sucessão nas camadas de (0-10) e (10-20 cm), 33 e 28% do C do solo proveniente de plantas C4 indicando que ainda há contribuição das plantas C4 no C do solo, porém em uma área em estágio médio de sucessão esses valores de C corresponderam a 3 e 8% de C derivado de plantas C4 indicando que ocorreu uma maior substituição do C das plantas C4 pelo C derivado de plantas C3 da mata.

A composição isotópica do C do solo de uma pastagem que passou por um processo de regeneração natural durante 35 anos foi avaliada por Coutinho et al. (2010) e os autores relatam que até a profundidade de 60 cm o 100% do C do solo da pastagem foi totalmente substituído pelo C das espécies arbóreas.

Os valores de  $^{13}\text{C}$  do solo foram avaliados por Maggiotto et al. (2014) até a profundidade de 60 cm em plantios de seringueira que substituíram pastagem de braquiária. Os autores determinaram que os plantios de 4 e 15 anos de idade de seringueira substituíram, respectivamente, 57 e 82% do C derivado da pastagem e relatam que os seringais apresentam grande potencial em substituir o C do solo.

### 2.13 Qualidade do Solo

As discussões sobre a importância da qualidade do solo foram intensificadas no início da década de 90, quando a comunidade científica, ciente da importância do solo para a qualidade ambiental, começou a abordar, a preocupação com a degradação dos recursos naturais, a sustentabilidade agrícola e a função do solo nesse contexto (Vezzani et al., 2009).

A definição do conceito de qualidade do solo foi proposto por Doran (1997), em que o autor o define da seguinte maneira:

*“Qualidade do solo é a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens.”*

O manejo inadequado e a intensificação do uso do solo podem afetar a sua capacidade de manter a produtividade das plantas, estocar C e a ciclagem de nutrientes. A matéria orgânica do solo é um componente importante da fertilidade do solo, especialmente em regiões de clima tropical onde a ação microbiana é fundamental para a sua formação e mineralização (Kuwano et al., 2014).

A conservação dos recursos naturais tem despertado a preocupação com a avaliação da qualidade do solo bem como a quantificação das alterações nos seus atributos devido às formas de manejos aplicados, essa avaliação tem sido amplamente realizada para monitorar a sua produtividade (Neves et al., 2007).

Para avaliar a qualidade do solo, indicadores químicos, físicos e biológicos devem ser identificados e analisados quanto à sua sensibilidade a mudanças e perturbações causadas pelo manejo. Alterações no componente biológico que levam a mudanças nas suas funções-chave, como a capacidade de ciclagem e armazenar nutrientes apresentam mais sensibilidade para a avaliação das mudanças qualitativas no solo referente ao manejo adotado, quando comparados com os químicos ou físicos (Chaer & Tótola 2007).

Estudos como o de Shukla et al. (2006) consideram a matéria orgânica do solo como um bom indicador para se avaliar a qualidade do solo, o autor se baseia no fato de as várias funções e processos biológicos, físicos e químicos que ocorrem no solo estarem relacionados

diretamente com a presença de matéria orgânica, além do que é muito eficiente no monitoramento de mudanças da qualidade do solo no tempo. Além da matéria orgânica a biomassa microbiana representa a fração viva de C orgânico do solo, juntamente com as raízes e a macrofauna (Kaschuk et al., 2010). Essa propriedade biológica é mais sensível a mudanças no uso do solo sendo responsável pela decomposição dos compostos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia do solo (Trannin et al., 2007).

Outro indicador de qualidade do solo utilizado é a respiração basal do solo (RBS) que é definida como o produto de todas as funções metabólicas dos microrganismos nas quais o CO<sub>2</sub> é produzido. Os principais responsáveis pela liberação de CO<sub>2</sub> no solo são as bactérias e os fungos no processo de degradação da matéria orgânica (Silva et al. 2007). A razão entre a RBS por unidade de biomassa microbiana do solo e por unidade de tempo, permite obter o quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) (Anderson & Domsch 1993). Esse atributo permite identificar solos com biomassa mais eficiente na utilização de C e energia, os quais refletem ambientes com menor grau de distúrbio ou estresse (Chaer & Tótola, 2007).

No solo existem as enzimas que são moléculas de natureza protéica, cuja função é catalisar reações químicas termodinamicamente possíveis, exercendo papel fundamental nos ciclos biogeoquímicos, transformando material orgânico e aceleram a ciclagem de nutrientes e assim contribuem para a sustentabilidade dos ecossistemas (Balota et al., 2013).

As principais enzimas utilizadas para a avaliação da qualidade do solo estão indicadas na Tabela 5.

**Tabela 5.** Principais enzimas utilizadas como indicadoras de qualidade do solo.

<b>Enzimas do solo</b>	<b>Atividade</b>
Amilase	Hidrólise do amido
Celulase	Hidrólise da celulose
Urease	Hidrólise da molécula de ureia
Arilsulfatase	Ciclagem do enxofre
Fosfatase	Ciclagem do fósforo
Protease	Hidrólise de proteínas e síntese de aminoácidos
Desidrogenase	Cadeia respiratória / Oxidação da matéria orgânica
FDA	Atividade das enzimas (lipases, proteases e esterases)
β-Glicosidase	Ciclagem do carbono

Adaptado de Balota et al. (2013).

As atividades microbianas e enzimáticas recentemente vêm sendo utilizadas como indicadoras de qualidade do solo em função do uso e manejo do solo.

A biomassa e a atividade microbiana de Latossolo Vermelho-Amarelo, sob Cerrado nativo e diferentes sistemas de manejo - MG, foram avaliadas por Silva et al. (2010). Os resultados revelaram que tanto a biomassa e a atividade microbiana foram influenciadas pelos diferentes sistemas de manejo do solo. Os autores relatam que as condições mais satisfatórias para a microbiota do solo ocorreram no Cerrado nativo, e o manejo intensivo do solo no cultivo convencional determinou redução nos teores de C da biomassa microbiana e maiores valores de qCO<sub>2</sub>, indicando uma provável condição de estresse para a biomassa microbiana.

No estado do Paraná, Balota et al. (2010), estudaram o efeito de diferentes leguminosas utilizadas na adução verde sobre a atividade de enzimas do solo e na mineralização do C e N na cultura do cafeeiro, os autores concluíram que cultivo de adubos verdes influenciou a atividade das enzimas (urease, arilsulfatase e fosfatase) e a mineralização do C e N do solo. O cultivo da leucena aumentou a atividade da fosfatase ácida e da arilsulfatase, já a *Crotalaria breviflora* incrementou a atividade da urease.

A atividade da enzima  $\beta$ -Glucosidase foi medida em área de plantio direto e de Cerrado por Peixoto et al. (2010). A área de plantio direto apresentou maior atividade da enzima em comparação à área de Cerrado. Os autores relatam que o tipo e a qualidade do material aportado ao solo influenciam a atividade de certos grupos de enzimas.

Diferentes usos e manejos do solo foram avaliados por Lisboa et al. (2012) em relação a diversos atributos microbianos para avaliar a qualidade do solo no estado do Rio Grande do Sul. Foram avaliadas uma área de plantio direto, uma área de plantio convencional e uma área de campo natural, os autores concluíram que a atividade das enzimas, assim como a biomassa e a respiração microbianas, foi menor no plantio convencional, enquanto que as áreas de campo natural e plantio direto tenderam a resultados semelhantes, indicando a capacidade de sistemas de manejo em manter a qualidade original do solo.

Diante disso, a atividade dos microrganismos e das enzimas é importante como ferramenta para avaliar a qualidade do solo em função do uso e do manejo, porém é preciso adotar esses métodos de avaliação rotineiramente, pois são mais sensíveis ao manejo e contribuem para a sustentabilidade do solo.



### **3 CAPÍTULO I:**

## **AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL, CRESCIMENTO, ESTOQUE E NUTRIENTES DA SERAPILHEIRA EM PLANTIO DE CLONES DE SERINGUEIRA (*HEVEA BRASILIENSIS*)**

### 3.1 RESUMO

O adequado estado nutricional da cultura da seringueira, durante seu período vegetativo, determina o seu crescimento. Este estudo teve como objetivo avaliar o estado nutricional, o crescimento, o estoque e nutrientes da serapilheira de 5 clones de seringueira (FX 3864, FDR 5788, PMB 1, MDX 624 e CDC 312) plantados em área experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (PESAGRO), no Município de Silva Jardim, localizado na região da Baixada Litorânea, do estado do Rio de Janeiro. O solo da área foi classificado como ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico. Os clones avaliados apresentaram deficiência dos macronutrientes N, P e K. Os clones MDX 624 e CDC 312 apresentaram um melhor estado nutricional em relação a esses nutrientes. Os diferentes clones apresentaram diferença de crescimento para as variáveis diâmetro a 1,30 m do peito (DAP) e altura total (Ht). O clone MDX 624 apresentou maior crescimento em DAP e o clone PMB menor crescimento em DAP e Ht. O estoque de serapilheira variou de 1,22 a 2,17 Mg ha<sup>-1</sup> entre os clones. Os teores contidos na serapilheira dos clones seguiram a ordem decrescente de N > Ca > K > Mg > P. A cultura da seringueira apresentou crescimento limitado devido as desordens nutricionais; mostrando que é preciso aumentar os estudos em relação a adubação para que a deficiência nutricional deixe de ser fator limitante para o desenvolvimento da cultura. Em relação ao estoque e nutrientes da serapilheira, a seringueira apresentou padrões de conteúdo de nutrientes na serapilheira semelhante a formações florestais nativas e leguminosas arbóreas, podendo contribuir para a melhoria do solo com adição de nutrientes com o estoque anual de serapilheira.

**Palavras-chave:** Nutrição de plantas. Ciclagem de nutrientes. Fertilidade do solo.

### 3.2 ABSTRACT

The adequate nutritional status of the rubber tree, during the growing season, will determine the growth. This study aimed to evaluate the nutritional status, growth, stock and nutrients from litterfall of five clones of rubber tree (FX 3864, FDR 5788, PMB 1, MDX 624 e CDC 312) planted in the experimental area of Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (PESAGRO), located in Silva Jardim, in the coastal lowland region of the Rio de Janeiro state. The soil of the area was classified as Typic Hapludult. The evaluated clones showed deficiency of the macronutrients N, P and K. The MDX 624 and CDC 312 clones presented a better nutritional status in relation to these nutrients. The clones had different growth according to the variables diameter at 1.30 m chest level (DCL) and total height (Ht). The clone MDX 624 showed higher growth in the DCL, and the clone PMB lower growth in terms of DCL and Ht. The litter stock varied from 1.22 to 2.17 Mg ha<sup>-1</sup> among clones. The nutrient levels in the leaf part of the clones litter followed the descending order - N> Ca> K> Mg> P. The rubber tree culture showed limited growth due to nutritional disorders; showing that it is necessary to increase studies regarding fertilization, so that the nutritional deficiency will no longer be a limiting factor for the growth of this culture. In relation to the stock and nutrients of litter, the rubber showed patterns in litter nutrient contents similar to those in the native forest and in leguminous trees, contributing to soil improvement, by increasing nutrients to annual litter stock.

**Keywords:** Plant nutrition. Nutrients cycling. Soil fertility.

### 3.3 INTRODUÇÃO

A seringueira é originária da região Amazônica e desperta grande interesse para o cultivo nas zonas tropicais, onde se pode obter alta produção de borracha natural quando empregados clones melhorados e tratos culturais adequados.

Os seringais implantados fora da região amazônica vêm apresentando bons resultados de crescimento e produção. No entanto, algumas limitações exigem esforços concentrados de pesquisa para superá-las, destacando-se neste contexto os trabalhos nas áreas de adubação e nutrição da cultura, no sentido de minimizar os efeitos negativos dos fatores edáficos que podem limitar o crescimento e a produtividade da seringueira (Murbach et al., 1999). A maioria dos trabalhos dedica esforços em constatar os efeitos dos fertilizantes somente no crescimento e na produtividade da seringueira (Bataglia & Santos, 1999). Os relatos na literatura sobre adubação em seringais em produção ainda são limitados e muitas vezes, a resposta à aplicação de fertilizantes é inconsistente, particularmente para alguns nutrientes, em especial o nitrogênio, o fósforo e o potássio (Murbach et al., 1999).

Em plantios de seringueira no estado de São Paulo, Domingues (1994) realizou um levantamento nutricional de alguns seringais e constatou que todos os solos estudados apresentaram elevada acidez, baixos teores dos nutrientes P, K, Ca, Mg e baixa saturação por bases, indicando pouca preocupação dos produtores quanto a um manejo adequado da cultura.

Em estudo desenvolvido por Bataglia et al., (1988) que avaliou o estado nutricional de 40 seringais em produção no estado de São Paulo, chegou a conclusão que a diversidade de situações edafoclimáticas em que os plantios estavam implantados teve efeito marcante sobre o estado nutricional das plantas; com poucas exceções, os solos continham teores muito baixos de P e K, acidez mais elevada e a produtividade foi menor em função dos níveis mais baixos de N e K, nas folhas.

Nas regiões tropicais as formações florestais estão inseridas sobre solos que apresentam baixa fertilidade natural, além das fertilizações para as correções das deficiências nutricionais, os aportes e acúmulos de serapilheira são fundamentais para manutenção e melhoria das propriedades químicas do solo bem como aumento da sua capacidade produtiva (Gonçalves et al., 2001).

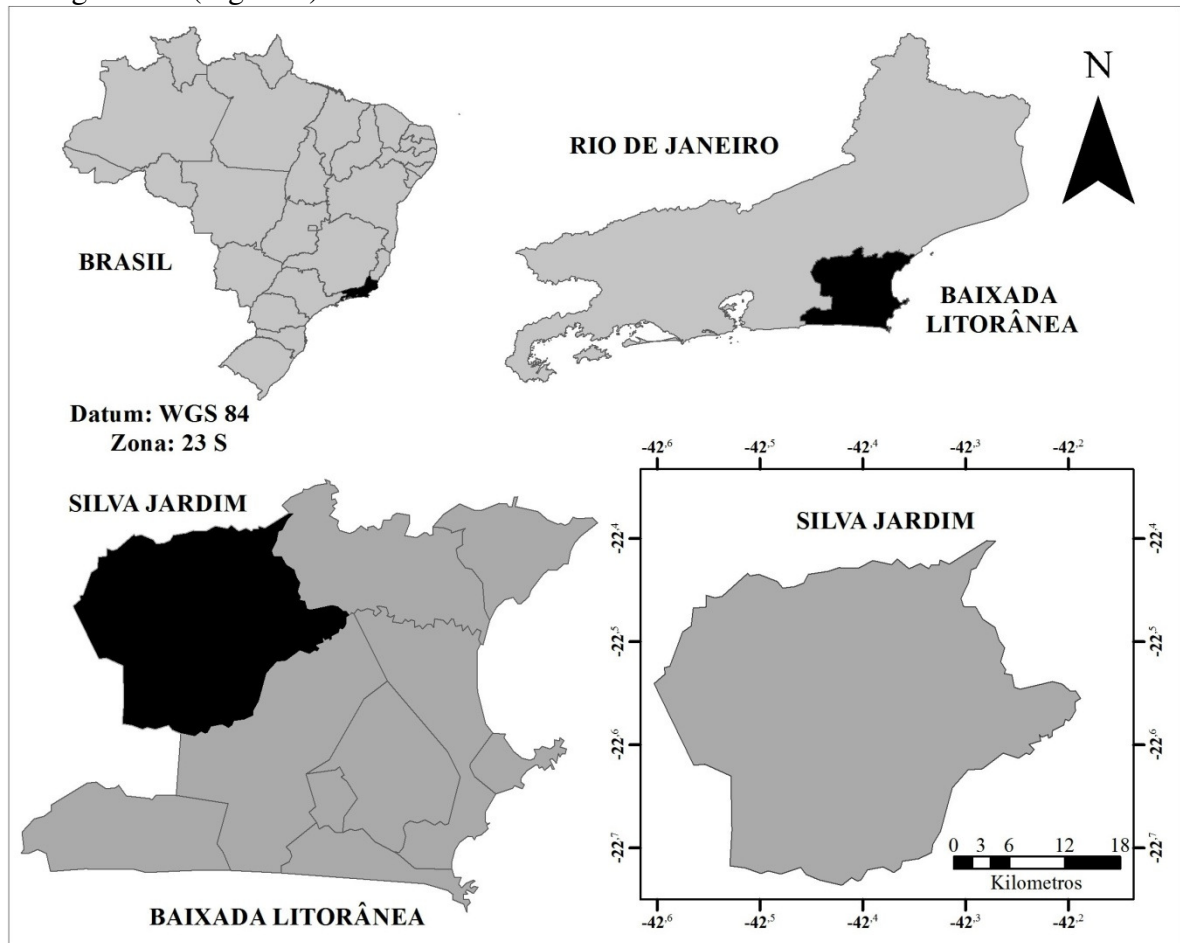
A capacidade produtiva das florestas é decorrente do conteúdo de nutrientes que são transferidos ao solo, sendo a deposição de serapilheira a principal via responsável pela entrada de nutrientes no sistema florestal, desta forma, informações sobre a ciclagem de nutrientes nas florestas geram informações sobre a dinâmica de ciclagem de nutrientes (Viera et al., 2010). Alterações na sua entrada e nas taxas de decomposição podem provocar a redução dos estoques nos solos, desencadeando processos de perdas de nutrientes, desta forma, a fertilidade do solo e a sustentabilidade dos ecossistemas estão ligadas inteiramente à manutenção da matéria orgânica (Roscoe & Machado, 2002).

Desta forma, o objetivo do estudo foi avaliar a fertilidade do solo, o estado nutricional, o estoque de serapilheira e o teor de macronutrientes no estoque de serapilheira em plantio de diferentes clones de seringueira na Baixada Litorânea do estado do Rio de Janeiro.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.4.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi realizado em plantios clonais de seringueira de 7 anos de idade, na área experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (PESAGRO), no município de Silva Jardim, localizado na região da Baixada Litorânea, do estado do Rio de Janeiro. A área de estudo está situada a  $22^{\circ}39'03''$  de latitude S e  $42^{\circ}23'30''$  de longitude O (Figura 3).



**Figura 3.** Localização do município de Silva Jardim, na Baixada Litorânea no estado do Rio de Janeiro.

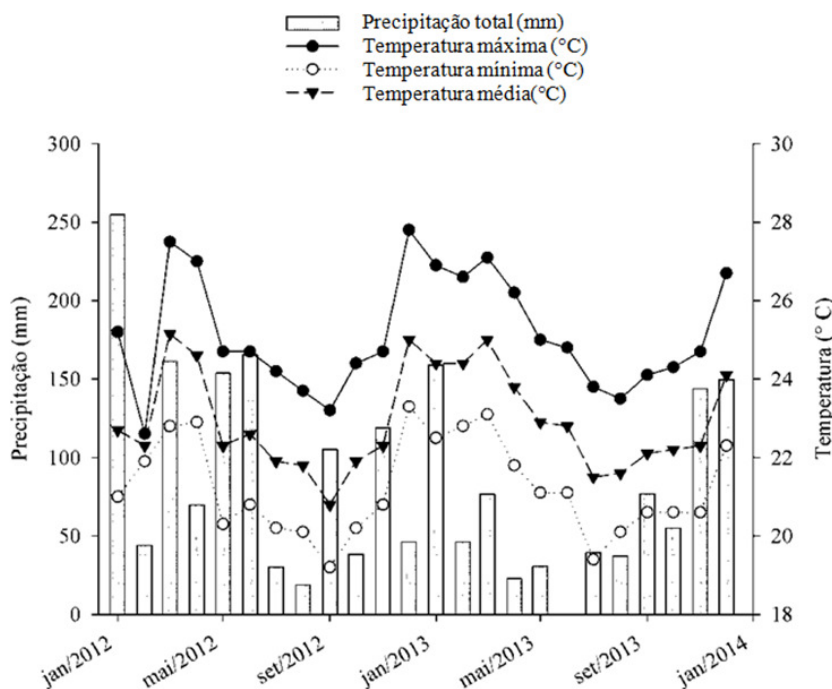
#### 3.4.2 Solo e Relevo

O solo foi classificado como ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico (Embrapa, 2013). Os solos da região em que o experimento foi conduzido têm como material de origem sedimentos da Formação Barreiras, de textura variando de arenosa a argilosa, cores variegadas, identificados nos baixos platôs amazônicos e nos tabuleiros da costa do norte, nordeste e leste brasileiro (Baptista et al., 1984). Silva & Cunha (2001) relatam que a maior expressão dos depósitos da Formação Barreiras, no estado do Rio de Janeiro, ocorre na região da planície costeira, do rio Paraíba do Sul estendendo-se até o litoral. Decorre disso, que sua fertilidade natural é baixa, especialmente na camada superficial (0-20 cm), de textura mais arenosa que a subsuperficial (20-60 cm), o que é típico dos Argissolos.

O relevo é ondulado com declividades variando de 18% a 23% e com altitude média de 45 m. A área de estudo está inserida no domínio morfoclimático denominado mares de morros florestados (Ab'Saber, 1996).

### 3.4.3 Clima

Segundo Köppen (Setzer, 1946), o clima da região é do tipo Cwa, tropical úmido, com a temperatura média anual de 23°C e a precipitação média anual de 1500 mm. Para os anos de 2012 e 2013, época de coletas de dados para o estudo, os valores médios de precipitação total, temperatura máxima, temperatura mínima e temperatura média estão indicados na (Figura 4).



**Figura 4.** Valores médios de precipitação total, temperatura máxima, temperatura mínima e temperatura média referente aos anos de 2012 e 2013.

**Fonte:** Estações meteorológicas de Arraial do Cabo e Casimiro de Abreu, RJ.

### 3.4.4 Histórico da Área

De acordo com informações da PESAGRO, anterior à implantação da cultura da seringueira, a área foi utilizada para o cultivo de citrus (*Citrus sinensis* L. Osbeck), durante 5 anos, estando em pousio com presença de vegetação espontânea durante 2 anos até o momento da implantação da seringueira, a qual ocorreu em abril de 2006.

O preparo de solo foi feito através da abertura de covas com 40 cm x 40 cm x 50 cm. Aplicou-se em cada uma delas 300 gramas de calcário dolomítico (29,5% de CaO, 19,5% de MgO), 300 gramas do adubo formulado (NPK 2-16-6) e 10 litros de esterco bovino.

Nos dois primeiros anos de implantação, foi realizada uma calagem na área, com o equivalente a 2 Mg de calcário dolomítico por hectare, correspondendo a 590 kg de CaO ha<sup>-1</sup> e 390 kg de MgO ha<sup>-1</sup>. As adubações complementares consistiram em aplicação até o sexto ano após o plantio, equivalente a 260 kg de N ha<sup>-1</sup>, 65 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> e 260 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. Não foram inseridas informações sobre as adubações do sétimo ano porque no período em que foi amostrada a área, ainda não havia sido feita a adubação.

### 3.4.5 Delineamento Experimental

Foram alocados no campo 4 blocos casualizados (DBC) longitudinalmente, acompanhando as curvas de nível do terreno, com 5 tratamentos compostos pelos clones FX

3864, FDR 5788, PMB 1, MDX 624 e CDC 312. Cada parcela útil apresenta 160 m<sup>2</sup>, constituída por 8 plantas, com espaçamento de 8 x 2,5 m, equivalendo a uma densidade de plantio de 500 árvores ha<sup>-1</sup> (Figura 5).

FDR 5788	CDC 312	FX 3864	MDX 624	PMB 1	Bloco I
MDX 624	FDR 5788	PMB 1	CDC 312	FX 3864	Bloco II
PMB 1	FDR 5788	CDC 312	FX 3864	MDX 624	Bloco III
CDC 312	MDX 624	PMB 1	FDR 5788	FX 3864	Bloco IV

**Figura 5.** Esquema do plantio de clones de seringueira aos 7 anos de idade.

### 3.4.6 Avaliações Realizadas

#### a) Fertilidade do solo

Para caracterização dos atributos químicos do solo foram coletadas 4 amostras simples, sendo abertas 2 mini trincheiras na linha e 2 na entrelinha de plantio de cada clone para formar uma amostra composta nas profundidades de (0-10 cm), (10-20 cm) e (20-40 cm).

A fertilidade do solo foi determinada utilizando amostras de TFSA, sendo essas submetidas às seguintes determinações: pH em água, H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>. A partir das concentrações foram calculadas: a soma de bases Valor S (= Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup>), o Valor T (Valor S + H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>) e a saturação por bases V% (=Valor S/Valor T)\*100). As análises químicas foram realizadas pelo método de rotina segundo Embrapa (1997).

#### b) Avaliação do crescimento dos clones

Para a avaliação do crescimento, foram feitas mensurações de todos os clones de cada parcela, as medições abrangeram a circunferência à altura do peito (CAP) 1,30 m do solo que foi aferida com auxílio de fita métrica e que posteriormente foi convertida para diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura total (Ht) dos clones foi obtida com auxílio de hipsômetro.

#### c) Avaliação do estado nutricional das plantas

Para a avaliação do estado nutricional dos seringais, adotou-se o método descrito por Garcia et al. (1999), no qual foi proposto que os seringais fossem divididos em glebas homogêneas, levando em consideração o solo, o clone e a idade das árvores.

Foram amostradas todas as plantas em cada parcela de cada clone, coletando-se quatro amostras de folhas basais, sem pecíolo, do último lançamento foliar do ramo escolhido, apresentando folhas completamente maduras, expandidas, isentas de ataque de doenças, pragas e sem emissão de novos lançamentos foliares.

No laboratório, o material foi seco em estufa a 65°C, após a secagem as amostras de tecido foram moídas em moinho tipo Wiley. Foram pesadas 200 mg de material e acondicionados em tubos de digestão para a determinação do N. Foram adicionados 2 mL<sup>-1</sup> de ácido sulfúrico concentrado (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e 1 mL<sup>-1</sup> de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). O material foi colocado em bloco digestor com temperatura final de 330°C para determinação dos teores de N pelo método de arraste a vapor (Tedesco et al., 1995).

Para a determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn foi utilizada a metodologia proposta por Malavolta et al. (1997), onde foram pesadas 500 mg de material seco e moído e foram acondicionadas em tubos de digestão onde foram adicionados 6 ml de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) e 2 ml de ácido perclórico (HClO<sub>4</sub>) na proporção de 2:1. O material foi aquecido em bloco digestor com temperatura final de 210°C.

O P foi determinado por espectrofotométrica com o método azul de molibdênio. O teor foliar de B foi feito por incineração a 500°C e determinado com reagente colorimétrico Azometina-H, no comprimento de onda de 420nm. Os demais nutrientes foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica de acordo com as metodologias descritas por Malavolta et al. (1997).

A interpretação dos resultados foi feita comparando-se os teores dos nutrientes das amostras com tabela de níveis críticos ou de faixas de suficiência para a cultura da serapilheira segundo Garcia et al. (1999).

#### **d) Quantificação do Estoque de Serapilheira**

A quantidade de serapilheira em cada tratamento foi determinada em uma única ocasião, no mês de julho de 2012, por meio do lançamento aleatório de um gabarito metálico (0,0625m<sup>2</sup>) e posterior coleta dos resíduos de parte aérea das plantas contidos no seu interior. Em cada parcela, coletou-se 4 amostras simples para formar uma composta de serapilheira por parcela, totalizando 20 amostras compostas.

As amostras foram acondicionadas em sacos de papel e encaminhadas para estufa com ventilação forçada, em temperatura de 65 °C, por 48 h. Após esse período, realizou-se a pesagem para determinação da massa seca das amostras. A partir desses dados, foi determinada a quantidade de massa seca de resíduos vegetais na superfície do solo por hectare. Posteriormente, quantificou-se o estoque de serapilheira pela seguinte expressão:

$$\text{Estoque (Mg ha}^{-1}\text{)} = [(\text{peso material, em (Mg)} \times \text{área do gabarito, em (ha)})]$$

#### **e) Teores e conteúdo de nutrientes na serapilheira**

O material foi seco em estufa a 65°C, após a secagem as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley e foram pesadas 200 mg de material e acondicionados em tubos de digestão. Foram adicionados 2 mL<sup>-1</sup> de ácido sulfúrico concentrado (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e 1 mL<sup>-1</sup> de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) o material foi colocado em bloco digestor com temperatura final de 330°C para determinação dos teores de N, P, K, Ca e Mg de acordo com Tedesco et al. (1995). O conteúdo de nutrientes da serapilheira foi determinado multiplicando-se os teores das amostras (g kg<sup>-1</sup>) pelo estoque de serapilheira (kg ha<sup>-1</sup>).

### **3.4.7 Análises Estatísticas**

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de normalidade da distribuição dos erros (teste de Lilliefors) e homogeneidade das variâncias dos erros (teste de Cochran). Atendendo as pressuposições de normalidade e homogeneidade os valores médios foram comparados por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05).



### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.5.1 Fertilidade do Solo

A fertilidade do solo foi avaliada em função do clone plantado, não sendo observada diferença estatística entre esses nas diferentes profundidades avaliadas (Tabela 6). Mesmo não ocorrendo diferença estatística na fertilidade do solo, foi verificado que na profundidade de (0-10 cm) o clone MDX 624 apresentou tendências de menores valores de pH, Ca, S e V% e aumento nos teores de  $Al^{3+}$  e H+Al.

**Tabela 6.** Fertilidade e granulometria do solo sob plantios de clones de seringueira.

Clone	pH H <sub>2</sub> O	P mg dm <sup>-3</sup>	K mg dm <sup>-3</sup>	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						V %	-----g kg <sup>-1</sup> -----		
				Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	S	T		Argila	Silte	Areia
0-10 cm													
FX 3864	5,0	1,4	2,6	0,7	0,9	0,8	4,1	2,6	6,8	39,5	225	157	618
FDR 5788	5,1	2,0	2,7	1,1	1,0	1,0	3,9	2,5	6,4	38,5	217	158	625
PMB 1	4,8	0,8	3,1	0,8	1,3	1,1	4,6	2,3	7,0	34,2	206	165	629
MDX 624	4,7	1,3	3,0	0,8	0,6	1,2	4,9	1,7	6,7	26,7	243	140	617
CDC 312	5,2	1,5	3,3	1,1	1,4	0,7	4,6	3,0	7,7	38,8	237	153	610
<b>CV%</b>	6,8	28,0	18,0	22,0	28,0	30,0	20,0	17,0	16,0	17,0	20,0	32,0	18,0
10-20 cm													
FX 3864	4,8	0,7	2,2	0,8	1,4	1,2	4,0	2,2	6,3	36,4	271	119	610
FDR 5788	4,8	1,5	2,3	0,5	1,1	1,3	4,0	1,5	5,6	27,1	249	130	620
PMB 1	4,7	0,6	2,2	0,6	1,2	1,3	4,0	1,9	5,9	31,5	236	142	622
MDX 624	4,6	1,0	2,3	0,4	0,9	1,1	4,9	1,4	6,4	21,5	256	135	609
CDC 312	4,8	0,5	2,3	0,7	0,9	1,0	4,6	1,6	6,3	26,2	278	117	605
<b>CV%</b>	5,8	22,0	28,0	28,0	30,0	32,0	16,0	18,0	15,0	20,0	23,0	28,0	19,0
20-40 cm													
FX 3864	4,5	0,6	1,8	0,5	1,2	1,1	4,2	1,8	6,0	29,7	420	72	508
FDR 5788	4,5	0,4	2,8	0,7	1,1	1,2	4,2	1,8	6,1	30,4	404	76	520
PMB 1	4,5	0,4	1,7	0,2	1,4	1,3	4,4	1,6	6,0	25,3	378	98	524
MDX 624	4,5	0,7	2,0	0,4	1,0	1,2	4,7	1,4	6,2	21,5	415	51	534
CDC 312	4,6	0,6	2,0	0,9	1,2	1,3	4,2	1,7	5,9	27,3	422	61	517
<b>CV%</b>	4,0	30,0	31,0	31,0	20,0	18,0	14,0	1,0	24,0	23,0	25,0	23,0	24,0

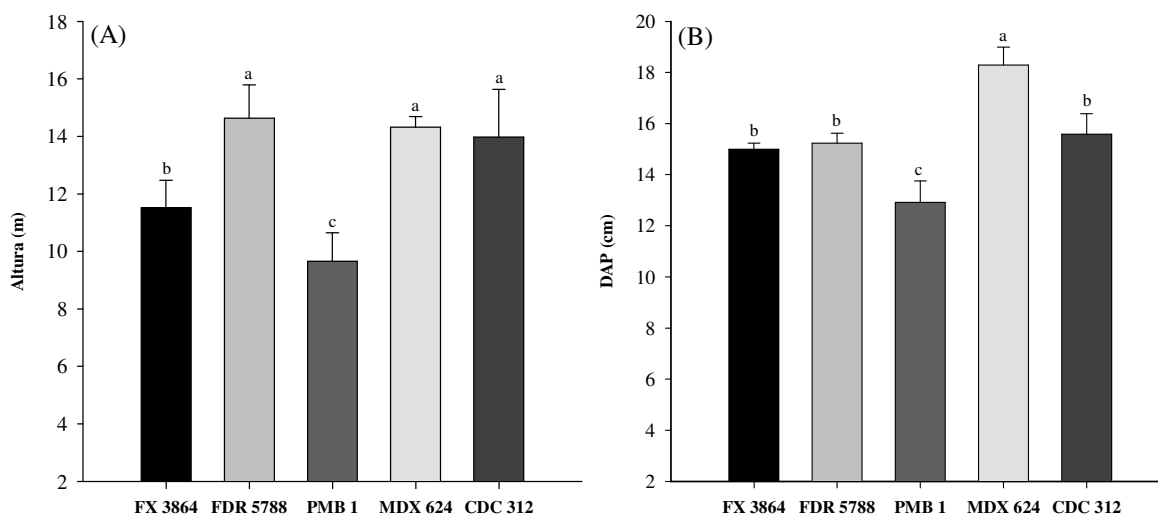
\*Valores não apresentaram diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O clone PMB 1 tendeu a menores teores de P nas profundidade de (0-10 cm). O K apresentou menores valores sob os plantios dos clones FX 3864 e FDR 5788 e o Mg tendeu a apresentar menores valores sob os plantios dos clones FX 3864, PMB 1 e CDC 312.

Na profundidade de (10-20 cm) o clone MDX 624 apresentou os menores valores de pH, e menores valores de Mg, Ca, S e V% e maiores valores de  $Al^{3+}$  e H+Al. O P apresentou os menores valores novamente sob o plantio do clone PMB 1 na profundidade de (10-20 cm). Na profundidade de (20-40 cm) novamente o clone MDX 624 tendeu a apresentar os menores valores de S e V% o que pode ser devido a sua maior eficiência em extrair nutrientes do solo.

#### 3.5.2 Avaliação do Crescimento dos Clones

Os clones estudados apresentaram crescimento diferenciado em DAP, em altura total (Ht) conforme indicado na (Figura 6). O clone MDX 624, em termos de DAP, apresentou maior crescimento em comparação aos clones, já em relação à altura total (Ht) os clones MDX 624, FDR 5788 e CDC 312 foram superiores aos clones FX 3864 e PMB 1.



**Figura 6.** Altura total média de clones de seringueira (A) e Diâmetro à altura do peito médio (DAP). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras associadas a cada média indicam o erro padrão da média.

Desta forma, o clone MDX 624 se destacou quanto ao crescimento das variáveis DAP e Ht podendo ser indicado para plantio no Rio de Janeiro devido o maior crescimento em DAP em relação aos demais clones, porém são necessários estudos sobre a sua produtividade.

### 3.5.3 Avaliação do Estado Nutricional dos Clones

De acordo com a Tabela 7 a demanda nutricional dos clones pode estar acima da capacidade do solo (e dos adubos adicionados) prover esses nutrientes, limitando assim o crescimento e a produção de borracha. Estes resultados corroboram outros trabalhos que mostram redução na fertilidade do solo em função do avanço da idade dos plantios de seringueira (Aweto, 1987; Cheng et al., 2007). Além disso, mostram a necessidade de programas regionalizados de recomendação de adubação NPK para a cultura (Dharmakeerthi et al., 2005).

Cheng et al. (2007), por exemplo, comparando a fertilidade de plantios das espécies entre 1954 e 1995, observaram redução nos teores de matéria orgânica, de N total, K e P disponíveis da ordem de 48%, 54%, 57% e 64%, respectivamente.

De acordo com a recomendação de adubação para a cultura da seringueira em diferentes idades elaborada por Garcia et al. (1999), as doses aplicadas no plantio em Silva Jardim – RJ, do primeiro ao sexto ano, apresentaram déficit de 52 kg de N ha<sup>-1</sup>, 275 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> e 50 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, o que refletiu na deficiência de NPK nos clones (Tabela 7).

Sendo o estado nutricional das plantas uma função da capacidade que o solo tem de prover nutrientes em quantidade e em sincronismo com a demanda da espécie e exigência das plantas, confirma-se que nem o solo, nem a estratégia de adubação utilizada na condução do experimento foram suficientes para que os teores foliares dos nutrientes N, P e K dos clones atingissem níveis de suficiência nutricional satisfatórios.

**Tabela 7.** Teores de nutrientes em folhas maduras de diferentes clones de seringueira e nível considerado adequado de teores nas folhas segundo Garcia et al. (1999).

	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>B</b>	<b>Fe</b>
	----- (g kg)-----					----- (mg kg <sup>-1</sup> )-----				
<b>*Teores</b>	<b>30- 35</b>	<b>20 – 25</b>	<b>12- 15</b>	<b>4- 10</b>	<b>2,4- 4,0</b>	<b>10- 30</b>	<b>40- 200</b>	<b>25- 50</b>	<b>20- 70</b>	<b>66- 200</b>
FX3864	22a	1,3b	6,2a	21,0a	5,5 <sup>a</sup>	8,9a	283,0a	40,4a	50,6a	155,9a
FDR5788	24a	1,3b	7,2a	16,1ab	3,4b	10,8a	211,4ab	26,7b	48,1a	157,8a
PMB1	24a	1,3b	6,4a	11,0b	3,8ab	11,1a	115,3b	22,5b	45,5a	117,9a
MDX624	26a	1,7a	6,6a	15,5ab	4,6ab	10,6a	236,0ab	30,1ab	50,6a	147,6a
CDC312	26a	1,4ab	7,8a	12,8ab	4,0ab	10,2a	165,1ab	33,6ab	47,3a	147,9a
<b>CV%</b>	12,0	10,2	13,5	27,6	21,0	36,8	33,0	17,5	6,7	14,2

\*Valores em negrito referem-se aos níveis considerados adequados para a cultura. Valores seguidos da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Todos os clones avaliados apresentaram deficiência de N, P e K, necessitando de adubações de manutenção complementares, sendo os clones MDX 624 e CDC 312 àqueles aparentemente melhor nutridos em relação a esses nutrientes. O melhor estado nutricional do clone MDX 624 proporcionou seu melhor crescimento.

Destaca-se que os níveis críticos foliares podem variar entre espécies, variedades e clones. Devido a isso, incentiva-se que curvas de calibração para os macronutrientes sejam confeccionadas para os materiais genéticos mais promissores. Assim, as faixas de suficiência de cada elemento, específicas para cada clone, poderão ser usadas de forma mais precisa nas predições de recomendação de aplicação de adubos e corretivos para a cultura, no estado do Rio de Janeiro.

O fato de que em outras regiões produtoras de borracha no mundo, as entradas anuais de fertilizantes; o retorno via serapilheira e sua decomposição; e as entradas atmosféricas não compensam as exportações de nutrientes via látex e madeira, por isso muitos solos sob seringais encontram-se em declínio da qualidade química e física (Aweto, 1987; Cheng et al., 2007).

### 3.5.4 Avaliação do Estoque de Serapilheira

Os plantios dos diferentes clones de seringueira apresentaram diferenças estatísticas no estoque de serapilheira que variou de (1,22 a 2,17 Mg ha<sup>-1</sup>) e na relação C/N, conforme indicado na (Tabela 8).

A quantidade de serapilheira acumulada sobre o solo dos diferentes clones estudados é baixa se comparada com outras formações florestais da Mata Atlântica (Caldeira et al., 2007 (7,9 Mg ha<sup>-1</sup>); Cunha et al. (2009) (8,65 Mg ha<sup>-1</sup>); Sperandio et al. 2012 (5,6 Mg ha<sup>-1</sup>); Cunha Neto et al. 2013 (4,7 Mg ha<sup>-1</sup>), assim como em florestas plantadas.

**Tabela 8.** Estoque de serapilheira e relação C/N em plantio de diferentes clones de seringueira.

<b>Clones</b>	<b>Estoque (Mg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Relação C/N</b>
FX 3864	2,02 a	32,5a
FDR 5788	1,22 b	30,3a
PMB 1	1,56 b	27,7b
MDX 624	2,17 a	27,6b
CDC 312	1,32 b	31,6a
CV%	24,3	18,5

Valores seguidos da mesma letra, na coluna, não diferem entre pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O estoque de serapilheira dos clones de seringueira também foi inferior aos valores relatados por Cunha Neto et al., (2013) para espécies utilizadas para reflorestamentos como eucalipto, *Acacia mangium* e *Mimosa artemisiana* aos 4,5 anos de idade, que estocaram quantidades de serapilheira referentes a 13,4; 6,8 e 2,4 Mg ha<sup>-1</sup>.

A diferença nos estoques de serapilheira entre os clones pode ser atribuída ao crescimento diferenciado das árvores em DAP e Ht (Figura 6). O que se reflete no maior acúmulo de biomassa e maior aporte de serapilheira no solo, mas também as diferenças na qualidade da serapilheira entre os clones.

No entanto, observa-se que a maioria dos clones estudados neste trabalho (FDR 5788, CDC 312 e PMB 1) foram semelhantes e os clones (MDX 624 e FX 3864) apresentaram maiores estoques de serapilheira que os relatados por Kindel et al. (2006) e Murbach et al. (2003). Tais autores, ao avaliarem o estoque de serapilheira em plantios dos clones IAN 873 e RRIM 600, ambos com 15 anos de idade, na Zona da Mata mineira e na região de Rio Claro – SP verificaram-se respectivamente os estoques de 1,0; 1,4 e 1,7 Mg ha<sup>-1</sup> de serapilheira. Já em plantios de seringueira com 30 anos de idade no estado do Acre, Lessa et al. (2011) quantificou estoque de 8,2 Mg ha<sup>-1</sup> de serapilheira.

A elevada precipitação da região (~1500 mm ano<sup>-1</sup>) pode também levar a elevadas taxas de decomposição da serapilheira, reduzindo o seu estoque sobre o solo na região.

### **3.5.5 Teores e Conteúdo de Nutrientes no Estoque de Serapilheira**

Os teores e os conteúdos de nutrientes no estoque de serapilheira dos clones avaliados estão indicados na (Tabela 9). Os teores de nutrientes da serapilheira somente apresentaram diferença estatística para N e Mg entre os clones. O clone FX 3864 apresentou os menores teores de N e os clones FDR 5788 e CDC 312 apresentaram os menores teores de Mg. Em relação ao conteúdo de nutrientes o clone MDX apresentou os maiores valores de N da serapilheira, os maiores conteúdos de N na serapilheira do clone MDX são decorrentes do melhor estado nutricional (Tabela 7) e devido ao seu maior estoque de serapilheira (Tabela 8) ocasionou um maior conteúdo de N na serapilheira.

**Tabela 9.** Teores e conteúdo de nutrientes no estoque de serapilheira em plantio de clones de seringueira.

	Nutrientes	FX 3864	FDR 5788	PMB 1	MDX 624	CDC 312	CV%
<b>Teores (g kg<sup>-1</sup>)</b>	N	14,1b	15,6ab	17,5a	17,7a	17,5a	9,2
	P	0,77a	0,84a	0,90a	0,91a	0,83a	29,3
	K	3,3a	2,8a	3,4a	2,6a	3,5a	23,6
	Ca	8,4a	6,5a	5,0a	6,7a	5,7a	22,6
	Mg	1,7ab	1,5b	1,4b	2,0a	1,4b	22,8
<b>Conteúdo (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	N	28,5ab	19,0b	27,3ab	38,4a	23,1ab	19,1
	P	1,6a	1,0a	1,4a	2,0a	1,1a	27,5
	K	6,7ab	3,4b	5,3a	5,6ab	4,6ab	23,4
	Ca	17,0a	7,9a	7,8a	14,5a	7,5a	21,5
	Mg	3,4ab	1,8b	2,2b	4,3a	1,8b	20,1

Valores seguidos da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV% - coeficiente de variação.

A quantidade dos teores e conteúdos da serapilheira dos clones seguiu a ordem decrescente de N > Ca > K > Mg > P. Essa ordem de transferência de nutrientes via serapilheira, dos clones, segue o padrão relatado por Machado (2011), que avaliou a ciclagem de nutrientes em um fragmento de Mata Atlântica na região do Médio Paraíba do Sul.

A ciclagem de nutrientes via deposição de serapilheira em plantios de seringueira com 15 anos de idade no estado de São Paulo foi avaliada por Murbach et al., (2003), onde o ordem de transferência de nutrientes seguiu a sequência Ca > N > Mg > K > P. Foram quantificados os teores na ordem de 13,1; 0,9; 1,1; 24,0; e 4,8 g kg<sup>-1</sup> de N, P, K, Ca e Mg na serapilheira estocada sobre o solo. O conteúdo de nutrientes correspondeu a 22,4; 1,5; 1,9; 41,0 e 8,2 kg ha<sup>-1</sup> de N, P, K, Ca e Mg.

Os teores de N e P encontrados na serapilheira dos clones de Silva Jardim são similares aos teores encontrados por Murbach et al. (2003), entretanto o teores de K foram superiores e os teores de Ca e Mg inferiores. Em relação ao conteúdo de nutrientes somente o P apresentou similaridade ao conteúdo de P da serapilheira do plantio do estado de São Paulo.

O conteúdo de nutrientes da serapilheira dos clones foram semelhantes aos valores de plantio de leguminosa (*Mimosa artemisiana*) quantificado por Cunha Neto et al. (2013), que encontrou conteúdos de N, P, K Ca e Mg iguais a 31; 1,0; 0,9; 10,7 e 3,6 kg ha<sup>-1</sup>.

A cultura da seringueira apresentou padrões de conteúdo de nutrientes no estoque de serapilheira semelhante a formações florestais nativas e leguminosas. Assim, mesmo com as divergências entre os teores de nutrientes aportados pela serapilheira em função de vários fatores como estado nutricional, idade, tipo de florestas, a seringueira pode contribuir para a melhoria do solo com adição de nutrientes através do estoque anual de serapilheira.

### 3.6 CONCLUSÕES

O solo apresentou baixa fertilidade, as aplicações de corretivos e adubos não foram suficientes para suprir a demanda de nutrientes requerida pelos clones o que levou a deficiência nutricional.

Os clones estudados apresentaram teores dos nutrientes N, P e K baixos, comparados aos níveis críticos citados na literatura, com teores de Ca, Mg e de micronutrientes acima dos respectivos níveis críticos. Os clones MDX 624 e CDC 312 apresentaram melhor nutrição dos nutrientes (N, P e K) refletindo uma melhor capacidade de extração de nutrientes do solo.

O clone MDX 624 apresentou o melhor crescimento quanto a variável DAP, ao passo que os clones FDR 3768, CDC 312 e o próprio MDX 624, para altura total, se mostraram mais adaptados às condições edafoclimáticas da Baixada Litorânea do estado do Rio de Janeiro.

Os clones MDX 624 e FX 3864 apresentaram melhor crescimento da parte aérea contribuindo para a maior produção e estoque de serapilheira. O clone MDX 624 apresentou maiores conteúdos de N e Mg no estoque de serapilheira em relação aos demais clones o que o faz um clone diferenciado para a adição de nutrientes ao solo.

Os resultados evidenciam que as recomendações de adubação para a seringueira no Brasil ainda são baseadas em pouca experimentação, exigindo, portanto, mais esforços de pesquisa. Recomenda-se que sejam elaboradas curvas de calibração de nutrientes para os materiais genéticos nas diferentes regiões produtoras, para que o potencial de produtividade de cada clone seja alcançado.

## **4 CAPÍTULO II:**

### **ESTOQUE DE CARBONO NA BIOMASSA, NO SOLO E FRACIONAMENTO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM ÁREA CULTIVADA COM CLONES DE SERINGUEIRA (*HEVEA BRASILIENSIS*)**

#### 4.1 RESUMO

A cultura da seringueira pode alocar significativas quantidades de C na sua biomassa e ainda contribuir para o aumento dos estoques de carbono no solo. Este estudo teve como objetivo avaliar os estoques de carbono na biomassa e no solo além das frações químicas e físicas da matéria orgânica do solo em plantios clonais de seringueira plantados em área experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (PESAGRO), no Município de Silva Jardim, localizado na região da Baixada Litorânea, do estado do Rio de Janeiro. Foram avaliados os clones FX 3864, FDR 5788, PMB 1, MDX 624 e CDC 312. O solo da área foi classificado como ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico. Em relação ao C total estocado na biomassa, os clones FDR 5788 e CDC 312 apresentaram maior contribuição da fração galhos, seguida da fração tronco. Após sete anos, em uma densidade média de 500 árvores por hectare, o plantio de clones de seringueira sequestrou, em média, 50,8 Mg ha<sup>-1</sup> de C em sua biomassa viva, sendo que 35% do carbono estocado foi quantificado no tronco, 30,2% nos galhos, 3,8 nas folhas e 13,5% nas raízes. O plantio de diferentes clones de seringueira não alterou o estoque de carbono orgânico total, o estoque médio foi de 84,6 Mg ha<sup>-1</sup> até a profundidade de 40 cm. O carbono das frações granulométricas da matéria orgânica do solo não apresentou diferença entre os clones avaliados. No entanto, a diferença na quantidade (estoque de serapilheira) e qualidade (relação C/N) do material vegetal aportado pelos diferentes clones, proporcionou alterações no conteúdo de matéria orgânica leve em água e carbono das frações húmicas. Como a cultura da seringueira tem em média uma vida produtiva de 30 a 35 anos, os plantios de seringueira podem contribuir para o sequestro de carbono tanto na biomassa como no solo e trazer melhorias para os solos que estão em processo de degradação.

**Palavras-chave:** Sequestro de carbono. Frações da matéria orgânica. Substâncias húmicas.



## 4.2 ABSTRACT

The culture of rubber tree may allocate significant amounts of C in its biomass and contribute to the increase of carbon stocks in the soil. This study aimed to evaluate carbon stocks in biomass and soil, besides chemical and physical fractions of soil organic matter in clonal plantations of rubber trees in the experimental area of Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (PESAGRO), located in Silva Jardim, in the lowland coastal region of the Rio de Janeiro state. The clones FX 3864, FDR 5788, PMB 1, MDX 624 and CDC 312 were assessed. The soil of the area was classified as Typic Hapludult. In relation to total C stored in the biomass, FDR 5788 and CDC 312 clones presented higher contribution from branches, followed by the trunk fraction. After seven years, for an average density of 500 trees per hectare, the rubber tree clones stored an average of 50.8 Mg ha<sup>-1</sup> C in the living biomass, and 35% of the stored carbon was quantified in the trunk, 30.2% in the branches, 3.8% in leaves and 13.5% in roots. The planting of different clones of rubber tree did not change the total stock of organic carbon accumulated in the soil, up to the 40 cm depth, which was in average of 84.6 Mg ha<sup>-1</sup>. The carbon of the granulometric fractions of soil organic matter showed no difference among the clones. However, the difference in the quantity (litter stock) and quality (C/N relation) of plant material contributed by the different clones was responsible for changes in the contents of light organic matter in water and in the carbon of humic fractions. As the rubber tree has an average productive life of 30 to 35 years, the rubber tree plantations can contribute to carbon sequestration in both biomass and soil, and bring improvements to soils that are in degradation process.

**Keywords:** Carbon storage. Organic matter fractions. Humic substances.

### 4.3 INTRODUÇÃO

As florestas apresentam grande importância dentro do contexto dos serviços ecossistêmicos, pois se tem levado potencial em sequestrar CO<sub>2</sub> da atmosfera e contribuem para a redução da emissão desse gás de efeito estufa. É de consenso científico mundial que as florestas são importantes para o equilíbrio de carbono global, pois armazenam nas árvores significativas quantidades de C (Houghton, 2005). Nesse contexto, as florestas se destacam graças à capacidade natural dos vegetais de sequestrar CO<sub>2</sub> da atmosfera, por meio da fotossíntese, e fixá-lo sob a forma de carbono na biomassa lenhosa, folhas e raízes e posteriormente com a sua decomposição transferi-lo para o solo (Chang, 2004).

De acordo com Fernandes et al. (2007) além do tradicional reflorestamento com culturas introduzidas no Brasil, como o eucalipto, outras espécies têm considerável potencial para sequestrar significativas quantidades de carbono da atmosfera e alocar na biomassa, como por exemplo a seringueira. A seringueira possui elevado ganho ambiental, pois armazena significativas quantidades de C na biomassa (Houghton 2005; Carmo et al., 2006, Jacovine et al., 2006).

No contexto florestal, os sistemas de manejo, quando aplicados corretamente, são capazes de manter ou até mesmo aumentar as frações de carbono orgânico no solo, contribuindo assim para a manutenção da capacidade produtiva e para a mitigação do incremento do CO<sub>2</sub> atmosférico (Siqueira Neto et al., 2011).

Segundo Lal (2005), os solos sob florestas em regiões tropicais apresentam maior potencial de estocar C, comparados ao uso do solo para agricultura, devido à maior biomassa depositada anualmente na forma de manta orgânica e de raízes mortas. Em ecossistemas florestais, o principal meio de aporte de matéria orgânica ocorre via produção, acúmulo e decomposição da serapilheira, sendo, portanto, um processo fundamental do ciclo do C nesses sistemas (Schumacher et al., 2004; Pandey et al., 2007).

A fixação de carbono no solo é um processo natural que envolve a transferência do carbono atmosférico para o solo, via transformações físicas e químicas até o processo final de humificação da serapilheira. Cerca de 5 a 15% da biomassa total depositada no solo é humificada, fenômeno que depende das características físicas, químicas e biológicas do solo, clima, qualidade e quantidade do material depositado e do manejo e uso do solo (Lal, 2006).

Estudos mostraram a eficiência da seringueira em estocar o carbono atmosférico em quantidades equivalentes a de uma floresta natural (Rahaman & Sivakumaram 1998, Cheng et al. 2007). Li et al. (2012) quantificaram em plantio de seringueira na China aos 28 anos de idade teores de C no solo em 20,3% superiores a área de cultivo abandonada por 15 anos e 5,5% menor em relação ao teor de C na camada de (0-20cm) em floresta tropical primária, mostrando o potencial da seringueira de estocar C no solo.

Este estudo teve como objetivo avaliar os estoques de carbono na biomassa e no solo além de determinar frações químicas e físicas da matéria orgânica do solo em plantios clonais de seringueira localizados na região da Baixada Litorânea do estado do Rio de Janeiro.

## 4.4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.4.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

Conforme itens 3.4.2, 3.4.3 e 3.4.4 do Capítulo I.

### 4.4.2 Delineamento Experimental

Conforme item 3.4.5 do Capítulo I.

### 4.4.3 Avaliações Realizadas

#### a) Estoque de carbono na biomassa dos clones

Em cada parcela foram realizadas medições que abrangeram os diâmetros a 1,30 m (DAP) e a altura total (Ht) de todas as árvores da cada parcela, a fim de que essas variáveis fossem utilizadas em modelos ajustados por Fernandes et al. (2007) em plantios de seringueira, aos 12 anos de idade, na Zona da Mata Mineira. Assim, foi possível determinar o acúmulo de C na biomassa dos clones de seringueira em que o abate das árvores fosse necessário (método indireto). Foram utilizados os modelos alométricos para a predição do C estocado em cada compartimento da parte aérea e das raízes, além do C total da biomassa ajustado (Tabela 10).

**Tabela 10.** Modelos alométricos para predição de C total e nas diferentes frações de árvores de seringueira. Fernandes et al. (2007).

(C) estocado	Modelo	R <sup>2</sup>	CV(%)
Tronco	$\text{Ln C} = -4,07305 + 1,63781 * \text{Ln}(\text{DAP}) + 1,21724 * \text{Ln}(\text{Ht})$	0,89	12,65
Galhos	$\text{Ln C} = -5,50875 + 4,2363 * \text{Ln}(\text{DAP}) - 1,10913 * \text{Ln}(\text{Ht})$	0,74	29,43
Folhas	$\text{Ln C} = -3,77312 + 2,80234 * \text{Ln}(\text{DAP}) - 1,01728 * \text{Ln}(\text{Ht})$	0,51	38,87
Raízes	$\text{Ln C} = -1,47682 + 1,44837 * \text{Ln}(\text{DAP}) + 0,40104 * \text{Ln}(\text{Ht})$	0,38	27,33
Total	$\text{Ln C} = -2,35205 + 2,43795 * \text{Ln}(\text{DAP}) + 0,11394 * \text{Ln}(\text{Ht})$	0,90	9,53

A escolha dos modelos de Fernandes et al. (2007) se deu pela impossibilidade de abater as árvores para o ajuste de modelos de predição. Também se optou em usar esse estudo como referência pela carência de modelos ajustados para o Rio de Janeiro e pelo fato de ser o mais semelhante quanto à idade do plantio, proximidade de região e condições de solo.

#### b) Estoque de carbono no solo

Em cada tratamento foram abertas, na linha e na entrelinha, duas trincheiras de aproximadamente 1 x 1 m de superfície e 60 cm de profundidade. Em cada uma das trincheiras, coletaram-se duas amostras indeformadas com auxílio de um anel volumétrico (Embrapa, 1997), nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20cm e 20-40 cm, sendo uma para a determinação da densidade do solo e outra amostra para a determinação do teor de carbono orgânico total.

O carbono orgânico total (COT) foi quantificado segundo Yeomans & Bremner (1988), onde foram pesadas 0,5 g das amostras de TFSA, macerada e passada pela peneira de 60 mesh. O material foi colocado em erlenmeyer de 250 mL, sendo em seguida, adicionados 5 mL de dicromato de potássio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  0,167 mol L<sup>-1</sup>) e 7,5 mL de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Posteriormente, aqueceu-se em bloco digestor a 170°C por 30 min. Em seguida, adicionou-se 80 mL de água destilada e 0,3 mL da solução indicadora (fenantrolina) para então titular com a solução de Sulfato Ferroso amoniacal 0,2 mol L<sup>-1</sup>

O estoque de C foi determinado a partir da expressão descrita abaixo:

$$\text{Est C (Mg ha}^{-1}\text{)} = [(C \times Ds \times e) / 10],$$

em que C é o valor do teor de carbono orgânico total na camada (g kg<sup>-1</sup>);

$D_s$ , a densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) e;  
 $e$ , a espessura da camada em análise, em cm.

#### **c) Matéria orgânica leve em água**

As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm sendo uma na linha de plantio e outra na entre linha. Após a coleta as amostras foram secas e destorroadas, e pesados 50 g de TFSA e acondicionados em becker de 250 mL, adicionando-se 100 mL de solução de NaOH  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ , deixando-se em repouso por uma noite. Decorrido o tempo, a suspensão foi agitada com bastão de vidro e todo o material passado por peneira de 0,25 mm, eliminando-se toda a fração argila e silte (Anderson & Ingram, 1988).

Posteriormente, o material retido na peneira (MOL e areia) foi transferido, quantitativamente, novamente para o becker, completando-se o volume com água. Todo o material flotado foi passado por peneira de 0,25 mm, tomando-se cuidado para separar a MOL da fração areia. Essa operação foi repetida até que todo o material que flutuou com a agitação em água foi removido. O material que ficou retido na peneira (MOL) foi transferido para recipientes de vidro (previamente pesados), levado a estufa a  $65^\circ\text{C}$  até atingir peso constante (72 horas), sendo pesado todo o conjunto.

#### **d) Fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo**

As amostras de solo foram coletadas conforme a descrição de coleta da (MOL), assim foram pesadas 20 g de TFSA e 60 mL de solução de hexametáfosfato de sódio ( $5 \text{ g L}^{-1}$ ) foram agitados durante 15 horas em agitador horizontal, a seguir, a suspensão foi passada em peneira de  $53 \mu\text{m}$  com auxílio de jato de água (Cambardella & Elliot, 1992).

O material retido na peneira, que consiste no carbono orgânico particulado (COP) associado à fração areia, foi seco em estufa a  $60^\circ\text{C}$ , quantificado em relação a sua massa, moído em gral de porcelana e analisado em relação ao teor de carbono orgânico total (COT) segundo Yeomans & Bremner (1988). O material que passou pela peneira de  $53 \mu\text{m}$ , que consiste no carbono orgânico associado aos minerais (COAM) das frações silte e argila, foi obtido por diferença entre o COT e COP.

#### **e) Fracionamento químico da matéria orgânica do solo**

Para o fracionamento das substâncias húmicas foi utilizada a técnica de solubilidade diferencial estabelecida pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (Swift, 1996), conforme técnica adaptada e apresentada por Benites et al. (2003). As amostras de solo utilizadas foram as mesmas coletadas para a análise da MOL e para o fracionamento granulométrico.

As substâncias húmicas foram separadas em três frações: fração ácidos fúlvicos (FAF), fração ácidos húmicos (FAH) e humina (HUM). Foi pesada uma massa de TFSA contendo o equivalente a 30 mg de C, submetendo-se ao contato com 20 mL de NaOH  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  por 24 horas. A separação entre o extrato alcalino ( $\text{EA} = \text{C-FAF} + \text{C-FAH}$ ) e o resíduo (C-HUM) foi feita por centrifugação a 5000 g por 30 minutos.

Seguiu-se mais uma lavagem com a mesma solução de NaOH, juntando-se o extrato com o anteriormente obtido, resultando em volume final de aproximadamente 40 mL. O resíduo foi retirado dos tubos da centrífuga, acondicionados em placa de petri e foi seco a  $65^\circ\text{C}$ . O pH do EA foi ajustado a 1,0 ( $\pm 0,1$ ) com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  20%, seguido de decantação por 18 horas. O precipitado (C-FAH) foi separado da fração solúvel C-FAF por centrifugação a 5000 g por 5 minutos e ambos os volumes aferidos a 50 mL, com NaOH C-FAH e água destilada C-FAH. A quantificação do carbono orgânico nas frações C-FAF e C-FAH foi feita usando-se alíquotas de 5,0 mL de extrato, 1,0 mL de dicromato de potássio  $0,042 \text{ mol L}^{-1}$  e 5,0 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, em bloco digestor a  $150^\circ\text{C}$  (30 min) e titulação com sulfato ferroso amoniacal  $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ .

No resíduo seco em estufa, foi determinado o C-HUM, adicionando-se 5,0 mL de dicromato de potássio  $0,1667 \text{ mol L}^{-1}$  e 10,0 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, em bloco digestor a  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  (30 min) e titulação com sulfato ferroso amoniacal  $0,25 \text{ mol L}^{-1}$  e indicador ferroin (Yeomans & Bremner, 1988). Por meio do carbono das substâncias húmicas, calcularam-se as relações entre o C-FAH/C-FAF, conforme (Benites et al., 2003).

#### **4.4.4 Análises Estatísticas**

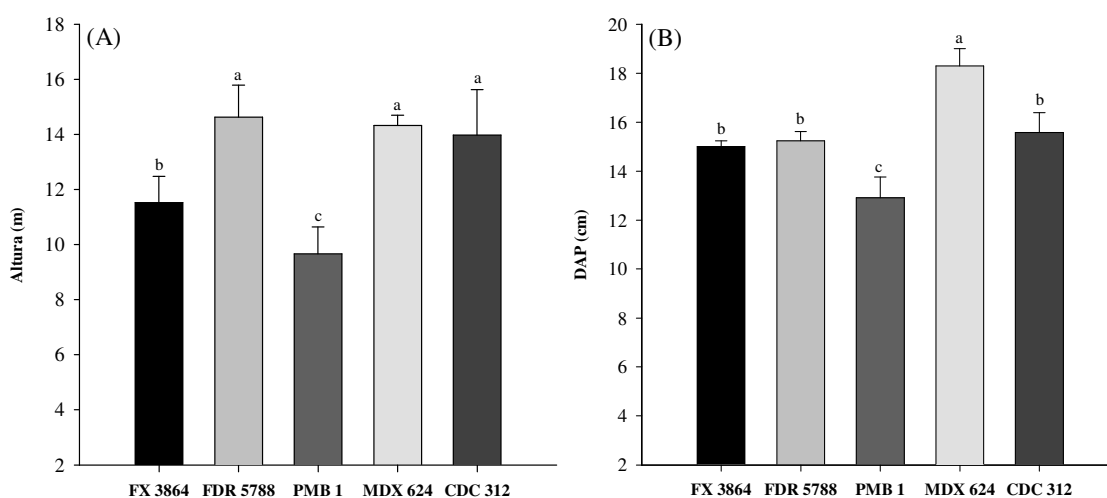
Os resultados obtidos foram submetidos à análise de normalidade da distribuição dos erros (teste de Lilliefors) e homogeneidade das variâncias dos erros (teste de Cochran). Atendendo as pressuposições de normalidade e homogeneidade os valores médios foram comparados por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $P < 0,05$ ).

## 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.5.1 Estoque de Carbono na Biomassa dos Clones

Os clones estudados apresentaram crescimento diferenciado em DAP, em altura (Figura 6) e também nos estoques de C de suas partes aéreas. No entanto, como as estimativas foram obtidas através de modelo que não foi ajustado para o plantio optou-se por usar a média do C estocado nos diferentes clones do plantio para obter o total de C estocado na biomassa.

Destaque deve ser dado ao clone MDX 624, em termos de DAP, e aos clones FDR 5788, CDC 312 e o próprio MDX 624, para a altura. Assim, o clone que mais se destacou quanto ao acúmulo de C foi o MDX 624, devido ao seu maior crescimento total (Figura 6).



**Figura 6.** Altura total média de clones de seringueira– (A) e Diâmetro à altura do peito médio (DAP) (B). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Barras associadas a cada média indicam o erro padrão da média.

Os diferentes clones de seringueira apresentaram diferenças estatísticas no estoque de C, nos diferentes componentes das árvores, o que refletiu no estoque total de C, na biomassa das árvores, conforme apresentado na (Tabela 11).

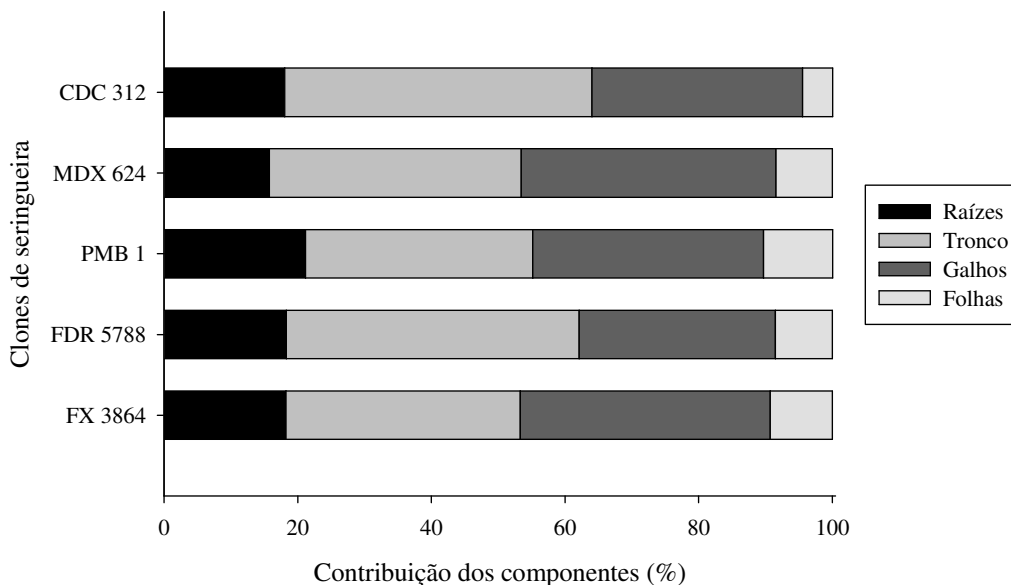
**Tabela 11.** Estimativa do C estocado em diferentes componentes da árvore e C total de diferentes clones de seringueira.

Clone	C (Mg ha <sup>-1</sup> )				
	Tronco	Galhos	Folhas	Raízes	Total
FX 3864	17,06b	18,20ab	4,53b	8,87b	48,65b
FDR 5788	22,32ab	14,92b	4,36b	9,31b	50,90b
PMB 1	11,27c	11,42b	3,43b	7,0c	33,10c
MDX 624	29,16a	29,50a	6,55a	12,22a	77,41a
CDC 312	20,42ab	13,97b	2,0b	8,01b	44,38b
<b>Média</b>	20,0	17,6	4,2	9,1	50,9
<b>CV%</b>	28,7	30,3	20,4	22,5	20,5

Valores seguidos da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação à contribuição dos diferentes compartimentos da parte aérea no estoque de C, observa-se uma similaridade entre as contribuições dos compartimentos tronco (28,4-

33,1%) e galhos (28,9-33,1%), nos clones FX 3864, PMB 1 e MDX 624, (Figura 7). Em relação às folhas, a contribuição ficou em torno de 3 a 4% e as raízes apresentaram uma contribuição de 12 a 16%, nos clones avaliados.



**Figura 7.** Contribuição de cada componente da parte aérea no C total estocado em clones de seringueira.

Diferindo do que foi observado neste estudo, os trabalhos de Carmo et al. (2006), Oliveira et al. (2006), Fernandes et al. (2007) e Saengruksawong et al. (2012), quantificando a biomassa e os estoques de C em seringueira, relataram as maiores contribuições para os galhos quando comparados ao tronco. Carmo et al. (2006), no município de Oratórios, MG, avaliando seringal com idade de 20 anos, estimaram que 117,2 Mg ha<sup>-1</sup> de C foram estocados na parte aérea, sendo que desse total, 57,5 % estavam distribuídos nos galhos grossos, 23,4 % no tronco, 12,1 % nos galhos finos e 7 % nas folhas. Os mesmos autores encontraram no sistema radicular a alocação de 22,0 Mg ha<sup>-1</sup> de C.

Já Oliveira et al. (2006), no estado do Paraná, avaliando seringal de 15 anos, constataram acúmulo total de C de 90 Mg C ha<sup>-1</sup>, sendo que 37,5 % do C estava associado aos galhos, 36,5% ao tronco, 18,5% ao sistema radicular e 7,5% às folhas. De maneira similar, Fernandes et al. (2007) ao avaliarem um seringal com 12 anos de idade, na Zona da Mata, no estado de Minas Gerais, quantificaram em média 62 Mg C ha<sup>-1</sup> na biomassa viva, onde os galhos contribuíram com 35,9%, seguido por troncos (30,1%), raízes (29,9%) e folhas (4,1%).

Na Tailândia, Saengruksawong et al. (2012) avaliando seringal com 15 anos, quantificaram em média 80,2 Mg C ha<sup>-1</sup> na biomassa, no qual o tronco contribuiu com 27,3%, galhos (52,4%), folhas (2,85%) e raízes (17,3%).

Na cultura da seringueira, são adotadas práticas silviculturais como maior espaçamento nas entrelinhas de plantio (em média 7 m), buscando maior produção de copa, ou seja, maior área fotossintética para maior produção de látex. Por este motivo, os galhos possuem maior contribuição no armazenamento de biomassa e, conseqüentemente, no carbono total acumulado (Fernandes et al., 2007).

No entanto, as menores contribuições dos galhos no estoque de C encontradas nos plantios de Silva Jardim – RJ, em relação à contribuição dos galhos em outros estudos de

estoque de C de (Carmo et al., 2006; Oliveira et al., 2006; Fernandes et al., 2007; Saengruksawong et al., 2012) pode estar associada a idade do plantio.

Neste trabalho, as medições foram realizadas aos 7 anos de implantação, enquanto nos estudos dos autores citados acima, os plantios são mais velhos, com idades variando entre 12 a 20 anos, e com isso, apresentaram um maior desenvolvimento da copa, o que contribuiu para a maior estocagem de C nos galhos.

Quanto ao estoque total de C da biomassa da seringueira, observa-se que os clones apresentaram grande potencial de sequestro de carbono em sua biomassa aérea ( $50,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), visto que com apenas 7 anos de implantação, obteve estoques de C superiores e semelhantes do que os seringais de outras regiões do Brasil e do mundo, com diferentes idades de plantio, tais como: Yang et al. (2005), na China, (7 anos e  $17,1 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ); Saengruksawong et al. (2012) na Tailândia (10 anos e  $26,7 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ); Fernandes et al. (2007), no estado de Minas Gerais, (12 anos e  $62,0 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ); Wauters et al. (2008) no estado do Mato Grosso (14 anos e  $41,7 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) e; Cheng et al. (2007) (30 anos e  $90,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ).

Embora a idade seja um componente importante e se relacione diretamente com a acumulação de biomassa e C nos seringais (Yang et al., 2005; Carmo et al., 2006; Oliveira et al., 2006; Cotta et al., 2008; Egbe et al., 2012), acredita-se que os clones estudados estejam com seu potencial de crescimento e acumulação de C limitados pela baixa fertilidade do solo e/ou pela baixa reposição dos nutrientes demandados pelas plantas.

Por outro lado, confrontando a média de estoque de carbono dos clones de seringueira deste trabalho com a literatura relativa a florestas naturais, observa-se que os clones de seringueira estocaram quantidades superiores a florestas naturais (Lima et al., 2006; Coutinho, 2009; Souza et al., 2012 e Ribeiro et al., 2010) que quantificaram estoques de C na biomassa aérea equivalentes a (28,8; 45,4; 36,54 e 19,5)  $\text{Mg ha}^{-1}$  respectivamente.

O valor médio de carbono da biomassa aérea total também foi superior e semelhante em comparação aos quantificados em áreas de plantio de eucalipto com respectivamente 4 e 6 anos de idade no município de Viçosa – MG e na região do Médio Paraíba do Sul (Coutinho, 2009 –  $34,1 \text{ Mg ha}^{-1}$  de C; Paixão et al., 2006 –  $62,4 \text{ Mg ha}^{-1}$  de C).

Com as estimativas de acúmulo de C na biomassa da parte aérea dos clones de seringueira em Silva Jardim, pode-se afirmar que esse potencial é ainda maior, já que não foram contabilizados o total de C fixado e direcionado para produção de serapilheira e da borracha, que podem chegar de 9 a 58% do total de C sequestrado por seringais durante os seus 30 anos de produção (Cheng et al., 2007).

#### **4.5.2 Estoque de Carbono no Solo**

Após 7 anos de implantação, os teores de C orgânico total (COT) e os respectivos estoques não apresentaram diferenças estatísticas entre os clones de seringueira na camada de 0-40 cm (Tabela 12). Vale ressaltar que quando se estratifica as camadas amostradas em intervalos de 0-5 cm, observa-se que os clones apresentam padrão de estocagem homogêneo em profundidade. De um modo em geral, os estoques de C apresentam um gradiente no solo, ocorre maior acumulação nas camadas superficiais e nas camadas mais profundas os estoques tendem a ser menores, fato considerado normal, uma vez que os maiores aportes de matéria orgânica são observados nas camadas superficiais.

Os teores médios de COT ( $\text{g kg}^{-1}$ ) encontrados nas diferentes camadas dos plantios foram de  $18,8 \text{ g kg}^{-1}$  na camada de (0-5 cm),  $15,9 \text{ g kg}^{-1}$  na camada de (5-10 cm),  $14,6 \text{ g kg}^{-1}$  na camada de (10-20 cm) e  $13,8 \text{ g kg}^{-1}$  na camada de (20-40 cm). O estoque médio de C total no solo até a profundidade de 0-40 cm foi de  $84,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ .



**Tabela 12.** Teores de carbono, densidade do solo e estoque de carbono no solo em plantio de clones de seringueira.

	Prof. (cm)	FX 3864	FDR 5788	PMB 1	MDX 624	CDC 312	Média	CV %
<b>C orgânico total</b> (g kg <sup>-1</sup> )	0-5	20,0(±1,3)	19,9(±1,1)	19,1(±1,9)	17,0(±1,1)	18,1(±1,8)	18,8	23,0
	5-10	16,0(±1,4)	14,8(±1,2)	16,0(±2,5)	16,3(±0,8)	16,8(±1,2)	16,0	27,0
	10-20	14,2(±1,4)	14,1(±0,6)	15,4(±0,2)	15,4(±0,4)	14,1(±1,4)	14,7	19,9
	20-40	11,0(±1,1)	14,7(±2,4)	17,2(±1,8)	13,3(±0,7)	12,9(±1,2)	13,8	25,3
<b>Densidade do Solo</b> (Mg m <sup>-3</sup> )	0-5	1,25(±0,30)	1,24(±0,23)	1,57(±0,41)	1,61(±0,37)	1,39(±0,52)	1,41	25,0
	5-10	1,43(±0,25)	1,58(±0,43)	1,38(±0,37)	1,64(±0,42)	1,49(±0,28)	1,50	28,0
	10-20	1,42(±0,36)	1,38(±0,41)	1,47(±0,23)	1,47(±0,34)	1,27(±0,42)	1,40	27,0
	20-40	1,47(±0,53)	1,39(±0,35)	1,38(±0,32)	1,43(±0,44)	1,37(±0,33)	1,40	27,5
<b>Estoque de C</b> (Mg ha <sup>-1</sup> )	0-5	12,5(±0,9)	12,3(±1,3)	15,0(±1,6)	13,7(±1,3)	12,6(±1,0)	13,2	15,4
	5-10	11,4(±1,1)	11,7(±1,2)	11,0(±1,4)	13,4(±0,6)	12,5(±0,6)	12,0	13,7
	10-20	20,2(±0,4)	19,5(±0,2)	22,6(±0,3)	22,7(±0,2)	17,9(±0,7)	10,3	24,6
	20-40	32,4(±1,3)	41,0(±4,0)	47,3(±2,6)	38,0(±0,5)	35,3(±1,9)	10,0	23,3
	0-40	76,5(±2,3)	84,5(±1,8)	95,9(±1,4)	87,8(±1,7)	78,3(±2,3)	84,6	23,7

\*Valores de teores de C, densidade do solo e estoques de C em cada profundidade não apresentaram diferença estatística pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Valores em parênteses representam o erro padrão da média, CV% - coeficiente de variação.

A semelhança nos valores de COT entre os tratamentos pode estar relacionada a fatores, tais como: a idade reduzida dos plantios (sete anos); a rápida decomposição da serapilheira e reduzida incorporação de C no solo; além de contribuições radiculares (exsudatos ou dinâmica de raízes finas) semelhantes entre os clones. Outros autores (Mendonça et al., 2001; Barreto & Fernandes, 2001; Marin et al., 2006; Coutinho et al., 2010; Guareschi et al., 2013) confirmam a necessidade de se monitorar sistemas arbóreos em médio e longo prazos (>10 anos) para que diferenças entre práticas de manejo possam ser detectáveis nos teores e nos estoques de C do solo.

Na literatura encontram-se vários resultados de teores e estoques de COT para a cultura da seringueira (Wauters et al., 2008; Saha et al., 2010; Saengruksawong et al., 2012). Entretanto, os resultados apresentam uma grande variação em função das diferentes idades dos plantios, da quantidade de material aportado, das condições climáticas e da textura do solo, Yang et al. (2005) quantificaram os estoques de C no solo em plantios de seringueira, aos 7 e 21 anos na China, os estoques de C nas camadas de (0-20 cm) e (20-40 cm), aos 7 anos, corresponderam a 42,3 e 84,2 Mg ha<sup>-1</sup>, Já no plantio de 21 anos, os estoques de C foram de 51,8 Mg ha<sup>-1</sup> na camada de (0-20 cm) e 96,9 Mg ha<sup>-1</sup> na camada de (20-40 cm). Li et al. (2012), em plantios de seringueira, na China com 18 anos, quantificaram para camada (0-20 cm) um teor de 24,1 g kg<sup>-1</sup> de C e num plantio de 28 anos, o teor foi de 30,1 g kg<sup>-1</sup>, na camada de (0-20 cm). Ainda na China, Zhang et al. (2007), avaliaram o teor de C nas camadas de (0-20) e (20-40 cm) em plantios com 6 anos de idade e encontraram 11 g kg<sup>-1</sup> e 6,1 g kg<sup>-1</sup> nas respectivas camadas avaliadas.

No Brasil, Wauters et al. (2008) avaliaram os teores de COT em plantios de seringueira aos 14 anos de idade, no estado do Mato Grosso, e encontraram na camada de 0-20 cm teor de 20,3 g kg<sup>-1</sup> e de 13,7 g kg<sup>-1</sup> na camada de 20-60 cm. No mesmo estudo, o estoque total de C no solo na camada de 0-60 cm foi de 72,45 Mg ha<sup>-1</sup>. Portugal et al. (2008) verificaram em plantio de seringueira com 20 anos de idade teores de C na camada de 0-10

cm equivalentes a  $18,1 \text{ g kg}^{-1}$  e na camada de 10-20 cm os teores foram de  $13,2 \text{ g kg}^{-1}$ . Os respectivos estoques de C nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm foram de  $206,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $155,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ , sem um total de  $362 \text{ Mg ha}^{-1}$  de C na camada de 0-20 cm.

Na Tailândia, Saengruksawong et al. (2012) quantificaram, em plantios de seringueira com 15 anos de idades, os estoques de C no solo, os quais corresponderam a  $8,27 \text{ Mg ha}^{-1}$  na camada de 0-20 cm e  $3,94 \text{ Mg ha}^{-1}$  de 20-40 cm. Na Índia, Saha et al. (2010) encontraram estoque de  $35,7 \text{ Mg ha}^{-1}$  de C na camada de 0-20 cm em plantio de seringueira aos 50 anos de idade.

Essa variabilidade dos teores e estoques de C no solo nos plantios de seringueira decorre das diferenças existentes entre as idades de plantios, tipos de solos, clima e práticas de manejo. Estudos desenvolvidos por Epron et al. (2004) relataram que as varrições espaciais de atributos físicos, químicos, biológicos e pedogenéticos em sistemas florestais são responsáveis por padrões de acúmulo de C do solo.

Pode ser comparada a média de estoque de carbono dos clones de seringueira deste trabalho ( $84,6 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) com resultados de plantios de eucalipto e Mata Atlântica obtidos por Balieiro et al. (2008), que avaliou o estoque de C em plantio de eucalipto aos 3,5 anos de idade, e quantificou na camada de 0-40 cm estoque de  $25,1 \text{ Mg ha}^{-1}$  de C por hectare.

Já Coutinho et al. (2010), ao avaliarem o efeito dos diferentes usos do solo no estoque de C na Mata Atlântica no estado de São Paulo constataram que um plantio de eucalipto aos 4 anos de idade e uma floresta com 34 anos de regeneração, na camada de 0-40 cm de profundidade, acumularam respectivamente  $60,7 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $58,7 \text{ Mg ha}^{-1}$  de C.

#### **4.5.3 Matéria Orgânica Leve em Água e Fracionamento Granulométrico da MOS**

Os teores de carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COAM) não apresentaram diferenças estatísticas entre os clones de seringueira nas duas camadas avaliadas, Porém, em relação à matéria orgânica leve em água (MOL), ocorreu diferença estatística entre os clones nas camadas avaliadas (Tabela 13).

Na camada de 0-5 cm os teores de COP e COAM corresponderam em média a 4,3 e 95,7% do C total do solo, na camada de 5-10 cm os teores de COP e COAM representaram 3,1 e 96,8% do C do solo, essa diferença pode ser decorrência do pouco tempo da instalação da cultura. A semelhança nos teores de C das frações COP e COAM nos diferentes plantios dos clones de seringueira também pode estar relacionado ao curto período de implantação do seringal e semelhança da qualidade do material vegetal.

Tais considerações são enfatizadas no trabalho de Figueiredo et al. (2010), onde mencionam que existe correlação negativa no processo de formação das frações COP e COAM, indicando que esses processos são opostos. Portanto, para que ocorram maiores teores de COAM no solo é necessário que ocorra maior decomposição dos teores de COP para posterior associação com os minerais do solo nas frações argila e silte, o que torna a matéria orgânica mais protegida devido à estabilização pela fração mineral. Isso foi bem evidenciado nas duas camadas avaliadas, pelo predomínio do COAM (Tabela 13). Esses resultados são corroborados com os dados de Pinheiro et al. (2015) que também relataram domínio da fração COAM em relação as frações mais lábeis e acessíveis. No caso o COP, que tende a ser mais sensível a mudanças no manejo em solos do estado do Rio de Janeiro.

**Tabela 13.** Teores de C nas frações granulométricas da matéria orgânica ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e teor de matéria orgânica leve em água do solo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) sob plantio de diferentes clones de seringueira.

Clones	COT	COP	COAM	MOL
	$(\text{g kg}^{-1})$			
	Prof. (0-5 cm)			
FX 3864	20,0a	0,7a	19,2a	0,76b
FDR 5788	19,9a	1,0a	18,9a	0,88ab
PMB 1	19,1a	0,8a	18,3a	0,94ab
MDX 624	17,0a	0,6a	16,4a	1,27a
CDC 312	18,1a	0,9a	17,2a	0,76b
CV%	23,0	25,3	26,8	20,2
	Prof. (5-10 cm)			
FX 3864	16,0a	0,5a	15,5a	0,38b
FDR 5788	14,8a	0,7a	14,0a	0,48b
PMB 1	16,0a	0,7a	15,2a	0,53b
MDX 624	16,3a	0,4a	15,9a	0,89a
CDC 312	16,8a	0,3a	16,5a	0,41b
CV%	27,0	32,0	23,0	18,4

Valores seguidos da mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, (COT)-Carbono orgânico total; (COP)-Carbono orgânico particulado; (COAM)-Carbono orgânico associado aos minerais; (MOL) Matéria orgânica leve em água.

Quanto aos valores de MOL, o clone MDX 624 apresentou maior quantidade dessa fração em relação aos clones CDC 312 e FX 3864 (Tabela 13). Os maiores teores de MOL do clone MDX 624 é atribuído ao maior estoque de serapilheira que este clone aportou ao solo e também devido a tendência de menor relação C/N de sua serapilheira (Tabela 8) o que favoreceu a maior decomposição do material e assim proporcionando uma maior entrada de material decomposto ao solo, quando comparado aos demais clones.

Este fenômeno corrobora estudos Pulrolnik et al. (2009), que avaliaram o efeito do plantio de eucalipto na MOL em ambiente de cerrado no Vale do Jequitinhonha (MG), e constataram maiores teores de MOL nas áreas de maior deposição de serapilheira.

Os valores de MOL do presente trabalho são inferiores aos encontrados por Portugal et al. (2008) em plantios de seringueira com 20 anos de idade em Argissolo, onde os autores quantificaram para a camada de 0-10 cm valores de  $2,55 \text{ g kg}^{-1}$ . As diferenças podem ser devidas a diferentes idades dos plantios.

Os teores de MOL foram avaliados por Loss et al. (2010b) em diferentes sistemas agrícolas, e os maiores teores foram encontrados no sistema de plantio direto que mantém a palhada sobre a superfície do solo, aumentando os teores da fração leve da MOS e, que, semelhante aos teores de sistema agroflorestal e superior aos teores de sistema de produção convencional, onde o revolvimento do solo desfavorece a manutenção da fração leve.

O mesmo fenômeno foi relatado Guareschi et al. (2012), avaliando os teores de MOL em sistema conservacionista no Cerrado em Goiás, onde foi avaliado sistema de plantio direto com 20 anos e área de cerrado nativo. Os autores relataram que em função do tempo de adoção do sistema ocorreu aumento no aporte desta fração na camada superficial (0-5 cm) para as áreas avaliadas; já após 20 anos os teores de MOL do sistema de plantio direto foram iguais ao da área de Cerrado.

Segundo Compton & Boone (2002), sistemas que favoreçam o acúmulo de material vegetal sobre o solo apresentam relevante importância, pois a manutenção da MOL, é importante para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, uma vez que ela representa, em curto e médio prazos, potencial para ciclagem de nutrientes e incremento de C no solo.

Sistemas de uso de solo de longo prazo que não promovem revolvimento do solo e que contribuam para a manutenção e aporte de resíduos vegetais são indicados para o incremento de C no solo. Diante disso, a cultura da seringueira mostra-se como uma cultura promissora, por ser uma espécie florestal que apresenta um longo ciclo, cerca de 35 anos, podendo ser uma alternativa de uso em áreas de pastagens degradadas, contribuindo para o aumento da MOL e COAM ao longo do tempo e assim se tornar uma cultura capaz de fixar significativas quantidades de C no solo.

#### 4.5.4 Fracionamento Químico da MOS

Através da (Tabela 14), verifica-se em ambas as profundidades avaliadas, que houve diferença estatística nas frações húmicas das áreas com os diferentes clones. Dentre os clones avaliados, o MDX 624 apresentou menores teores de C-HUM e C-AH em relação aos demais clones na camada de (0-5 cm), Este resultado pode estar relacionado à menor relação C/N da serapilheira do clone MDX 624 (Tabela 8), a qual pode favorecer uma maior mineralização do C, impedindo a formação de substâncias húmicas mais estáveis.

Pode-se observar que a fração humina (C-HUM) apresentou os maiores teores de C em relação às demais frações, ácidos húmicos e fúlvicos. Em diversos estudos em que foi avaliado o uso e o manejo dos solos também se observou predomínio do carbono da fração humina em relação às outras frações (Fontana et al., 2010; Campos et al., 2013; Guareschi et al., 2013b; Bezerra et al., 2013).

**Tabela 14.** Carbono orgânico total, e C das frações húmicas da matéria orgânica do solo sob diferentes plantios de clones de seringueira.

Clones	Carbono das frações húmicas					
	COT	C-SH	C-HUM	C-FAH	C-FAF	C-FAH / C-FAF
	(g kg <sup>-1</sup> )					
	Prof. (0-5 cm)					
FX 3864	20,0a	14,9b	7,0ab	3,6a	4,3a	0,84b
FDR 5788	19,9a	15,4ab	8,3a	3,6a	3,5b	0,91a
PMB 1	19,1a	15,0ab	7,5ab	3,6a	3,9ab	0,90a
MDX 624	17,0a	15,6ab	6,9b	3,3b	5,4a	0,60c
CDC 312	18,1a	16,1a	7,1ab	3,7a	5,3a	0,71b
CV%	23,0	24,0	11,4	9,5	11,0	23
	Prof. (5-10 cm)					
FX 3864	16,0a	11,8b	6,7b	1,83b	3,3ab	0,55ab
FDR 5788	14,8a	12,7a	7,9a	1,77b	3,0b	0,59ab
PMB 1	16,0a	11,8b	5,3c	2,4a	4,1b	0,61b
MDX 624	16,3a	12,6a	5,9bc	2,0ab	4,7a	0,43c
CDC 312	16,8a	11,4b	6,4b	2,5a	2,5ab	0,92a
CV%	27,0	28,0	9,0	20,3	10,6	18

Valores seguidos de mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, COT: C orgânico total; C-SH: C das substâncias húmicas; C-HUM: carbono da fração humina; C-FAF: carbono da fração ácido fúlvico; C-FAH: carbono da fração ácido húmico, C-FAH/FAF: relação entre C-FAH e C-FAF.

Estudos como o de Kuzyakov & Domanski (2000) mostram que, quando os componentes das plantas apresentam maiores concentrações de lignina e compostos aromáticos (maior relação C/N), esse material apresenta uma decomposição mais lenta, contribuindo para a manutenção de substâncias orgânicas no solo.

Isso fica melhor evidenciado pelo C-AF, onde o maior estoque de serapilheira e MOL, bem como, a menor relação C/N do clone MDX 624, fez com que este apresentasse maiores teores dessa fração húmica mais lábil quando comparado aos clones FDR 5788 (0-5 cm) e PMB 1 (5-10 cm). Diante o exposto, percebe-se que o material orgânico aportado ao solo pelo clone MDX 624, favorece a formação de C-FAF em relação ao C-FAH, o que também explica seus menores valores da relação C-FAH / C-FAF na camada 0-10 cm (Tabela 14).

Ainda na Tabela 14 observam-se maiores valores da relação C-FAH / C-FAF dos clones FDR 5788 e PMB 1, comparados ao FX 3864, MDX 624 e CDC 312 na camada de 0-5 cm. Esses resultados indicam que nas áreas de plantio dos clones FDR 5788 e PMB 1 ocorre no solo maior equilíbrio na formação entre o C-FAH e o C-FAF, enquanto que nos demais clones, predomina a formação de C-FAF em relação ao C-FAH.

Diante disso, pode-se considerar que o material orgânico aportado pelos clones FDR 5788 e PMB 1 está proporcionando, nesta profundidade do solo, melhor qualidade do húmus do solo. Pois segundo Kononova (1982), a relação FAH/FAF pode ser usada como indicador da qualidade do húmus, pois expressa o grau de evolução do processo de humificação da matéria orgânica.

No entanto, na camada de 5-10 cm o clone CDC 312 foi o que se destacou com maior relação FAH/FAF, e mais próxima do valor 1, em comparação aos clones PMB 1 e MDX 624 (Tabela 14). Pode-se inferir que nesta profundidade, o material orgânico aportado, pelo sistema radicular (rizodeposição), entre outras formas de C, apresenta maior relação C/N do que os clones PMB 1 e MDX 624, assim como ocorreu para a serapilheira (Tabela 8), possibilitando a maior formação de C-FAH e aumentando os valores da relação FAH/FAF. Isso pode ser evidenciado também, pelos maiores teores de C-HUM entre esses clones nesta profundidade, ou seja, o material aportado pelo clone CDC 312 nesta profundidade esta favorecendo a formação de substâncias húmicas mais estáveis, quando comparado aos clones PMB 1 e MDX 624.

Na literatura, são escassos os trabalhos que avaliam as frações húmicas da MOS em áreas com plantio de seringueira. Diante disso, torna-se necessário incentivar pesquisas nesta área, visando elucidar a dinâmica destas frações no solo, visto que são de grande importância para o entendimento da fertilidade dos solos brasileiros.

Perante a falta de dados para a comparação dos resultados deste trabalho, buscou-se realizar paralelo entre dados de frações húmicas de estudos com diferentes espécies florestais, sob mesmas condições edafoclimáticas, para mostrar possíveis similaridades ou divergências nos padrões dos dados.

Estudando o C das substâncias em solo de textura arenosa com plantio de eucalipto com 14 anos de idade na Baixada Litorânea do estado do Rio de Janeiro, Miranda et al. (2007) quantificaram teores de (C-AF), (C-AH) e (C-HUM) iguais a 1,8; 1,1 e 8,1 g kg<sup>-1</sup> na camada de 0-10 cm de solo. Verifica-se que os valores de (C-AF) e (C-AH) do presente estudo são superiores e o (C-HUM) é semelhante aos valores encontrados por Miranda et al., (2007). Apesar de possuir apenas a metade do tempo de plantio do que a floresta plantada, o plantio de seringueira apresenta um grande potencial em sequestrar C nas substâncias húmicas, podendo contribuir para o sequestro de C no solo.

Ainda em solo de textura arenosa em Seropédica, Giácomo et al. (2008) em áreas de floresta secundária com mais de 30 anos de idade quantificaram teores de C referentes a 5,27

g kg<sup>-1</sup> (C-HUM), 4,37 g kg<sup>-1</sup>(C-AH) e 3,77 g kg<sup>-1</sup> (C-AF) na camada de 0-5 cm e 6,20 g kg<sup>-1</sup> (C-HUM), 3,93 g kg<sup>-1</sup> (C-AH) e 4,17 g kg<sup>-1</sup> (C-AF) na camada de 0,05-0,10 m. Os valores médios do (C-HUM) nas camadas de (0-5 cm) e (5-10 cm) nos plantios de seringueira em Silva Jardim foram superiores aos determinados em Seropédica, porém o (C-AH) da floresta secundária foi superior aos valores determinados no plantios de seringueira em ambas as camadas avaliadas.

Em relação ao (C-AF) os plantios de seringueira apresentaram maiores teores em relação à floresta secundária na camada de 0-5 cm, já na camada de 5-10 cm a área de floresta apresentou maiores valores em relação aos clones.

Fontana et al. (2010) avaliaram solo de textura arenosa, em área de fragmento de Mata Atlântica, em Campos dos Goytacazes- RJ, e quantificaram na camada superficial teores de C das substâncias húmicas (C-AF, C-AH e C-HUM) iguais a 1,2; 0,8 e 3,7 g kg<sup>-1</sup> para a camada de 0-5 cm, e para a camada de 0,05-0,10 m valores de 1,3; 0,9 e 1,9 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Os teores de C das substâncias húmicas no presente trabalho foram superiores aos valores encontrados por Loss et al. (2010a), em solo também de textura arenosa sob sistema agroflorestal com 5 anos de idade em Seropédica- RJ, onde encontraram valores na ordem 6,6 g kg<sup>-1</sup> (C-HUM), 1,10 g kg<sup>-1</sup>(C-AH) e 1,15 g kg<sup>-1</sup> (C-AF) na camada de 0-5 cm, e de 5,43 g kg<sup>-1</sup> (C-HUM), 0,90 g kg<sup>-1</sup> (C-AH) e 1,20 g kg<sup>-1</sup> (C-AF) na camada de 5-10 cm.

Em área de mata nativa no estado do Pernambuco, o teores de C das substâncias húmicas da MOS foram quantificados por Pessoa et al. (2012). Para a camada de 0-5 cm, os valores encontrados foram de 4,7; 11,0 e 20,5 g kg<sup>-1</sup> para as frações C-AF, C-AH e C-HUM; já na camada de 5-10 cm os teores de C-AF, C-AH e C-HUM corresponderam a 4,1; 8,9 e 15,2 g kg<sup>-1</sup>. As diferenças nos teores de C das substâncias húmicas em comparação aos clones de seringueira podem ser atribuídas ao tipo de solo (Latossolo) que apresenta textura mais argilosa nas camadas superficiais quando comparado ao Argissolo.

Isso mostra que a cultura da seringueira pode estocar quantidades de C nas substâncias húmicas do solo semelhantes ou até superiores a florestas naturais e plantadas, sendo uma boa alternativa de plantio em áreas de pastagens degradadas e em sistemas agroflorestais.

#### 4.6 CONCLUSÕES

A cultura da seringueira se mostrou promissora para a estocagem de carbono na biomassa e no solo, apresentando em média um estoque de 50,8 Mg ha<sup>-1</sup> de C na biomassa total e 84,6 Mg ha<sup>-1</sup> de C no solo até a profundidade de 0-40 cm. O estoque total de C (biomassa + solo) foi de 135,5 Mg C ha<sup>-1</sup>, sendo que o potencial de sequestro de C na biomassa está limitado pela deficiência nutricional da cultura.

Após 7 anos de plantio, os clones de seringueira não alteraram os teores de COT e das frações granulométricas da matéria orgânica do solo na área avaliada. No entanto, a diferença na quantidade (estoque de serapilheira) e qualidade (relação C/N) do material vegetal estocado pelos diferentes clones, proporcionou alterações no conteúdo de matéria orgânica leve em água e no teor de carbono das substâncias húmicas.

O clone MDX 624 apresentou melhor crescimento da parte aérea contribuindo para a maior produção e estoque de serapilheira. Porém, os resíduos deste clone apresentam menor relação C/N, favorecendo a rápida taxa de mineralização do C mais lábil, e com isso, uma menor porção do C permaneceu associado à fração humina. Já o clone FDR 5788 também apresenta bom potencial de crescimento nas condições climáticas da região do estudo, mas o estoque de serapilheira foi menor em relação ao clone MDX 624. Entretanto, as frações húmicas da matéria orgânica associada ao clone FDR 5788 apresentam maior relação entre C-FAH / C-FAF, contribuindo para a conservação do carbono no solo.

Diante o exposto, comparando-se o estoque de C no solo em plantios de seringueira no Brasil e em outros países, assim como os estoques de C em florestas naturais e plantadas, recomenda-se o incentivo do plantio da cultura da seringueira devido ao potencial que a cultura possui em sequestrar C atmosférico.

Novos estudos devem ser conduzidos para que os resultados apresentados possam ser confirmados, pois se trata de benefício para a estocagem de C no solo; pois este ocorre em profundidade, o que leva a conservação da matéria orgânica durante maior período de tempo, assim favorecendo os processos de humificação.

## **5 CAPÍTULO III:**

### **ESTOQUE DE CARBONO, DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA, FERTILIDADE E INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM ÁREAS SOB DIFERENTES USOS DA TERRA NA BAIXADA LITORÂNEA FLUMINENSE**



## 5.1 RESUMO

O aumento da matéria orgânica promove melhorias na qualidade do solo, por isso, a adoção de usos e práticas de manejo que contribuam para a o incremento e/ou manutenção da matéria orgânica e da qualidade do solo devem ser incentivados. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito do uso da terra na fertilidade do solo, na ciclagem de nutrientes via estoque de serapilheira, quantificar o estoque de carbono, a dinâmica da matéria orgânica e avaliar os indicadores de qualidade do solo (Fosfatase ácida, BetaGlucosidase, Arilsulfatase e Lacase) e outros atributos microbiológicos do solo ( Nitrogênio da Biomassa Microbiana (NBM), Carbono da Biomassa Microbiana (CBM), Respiração Basal do Solo (RBS) e Quociente Metabólico ( $qCO_2$ ) em áreas com diferentes usos no estado do Rio de Janeiro. O estudo foi desenvolvido no município de Silva Jardim, localizado na região da Baixada Litorânea, do estado do Rio de Janeiro. A área de estudo está localizada no sítio Pedacinho do Céu ( $22^{\circ}40'22,11''S$ ;  $42^{\circ}25'55,53''O$ ). O solo das áreas amostradas foram classificados como ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico. Foram selecionadas três áreas com diferentes usos, uma área com plantio de dois clones de seringueira (FX 3864 e IAN 873) com aproximadamente 28 anos de implantação, uma área de mata e outra de pastagem com 16 anos de implantação. O uso do solo causou diferença nos atributos fertilidade, estoque de C, frações granulométricas, C das substâncias húmicas da matéria orgânica, na atividade enzimática e nas propriedades microbiológicas do solo. O maior estoque de serapilheira foi quantificado na área de mata, seguido pela pastagem e a seringueira. Os teores e conteúdos dos nutrientes nas áreas de seringueira seguiu a ordem decrescente  $N > Ca > Mg > K > P$ , na mata e pastagem, a ordem foi de  $N > Mg > Ca > K > P$ , O N e o K foram os nutrientes que apresentaram a maior contribuição na composição do látex (34,7 e 37,5%), o P, Ca e Mg contribuíram com 13,8; 11,1 e 2,7% da composição do latex. A área de pastagem foi que apresentou melhor fertilidade do solo. O maior estoque de serapilheira da área de mata refletiu em maior estoque de C na camada de (0-10 cm) e maiores teores de carbono das frações granulométricas e carbono das substâncias húmicas nas camadas de (0-5 cm) e (5-10 cm) em comparação as demais áreas. Os resultados de  $\delta^{13}C$  do solo demonstram que, com o passar do tempo, a seringueira foi capaz de contribuir com mais de 90% do carbono estocado no solo até a profundidade de (0-40 cm). Descontando o carbono derivado das gramíneas, o clone FX 3864 estocou ( $90,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) de carbono e o clone IAN 873 ( $101,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) na profundidade de (0-40 cm) sendo superior às áreas de mata ( $93,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e pastagem ( $71,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). A área de mata apresentou maior atividade das enzimas fosfatase e  $\beta$ -Glucosidase, os plantios dos clones de seringueira tiveram maior atividade das enzimas lipases, esterases e proteases (FDA) e arilsulfatase. A área de pastagem apresentou os maiores teores de C da (CBM), (NBM) e (RBS). O uso solo causou diferença na atividade enzimática e nos atributos microbiológicos do solo. A área de pastagem apresentou maiores teores de (CBM) e (RBS) o que representa uma baixa eficiência desse agroecossistema em preservar o carbono do solo. A cultura da seringueira mostrou-se promissora como uma alternativa de reflorestamento para ampliar a oferta de serviços ambientais em ambientes de pastagens em estágio de degradação podendo estocar quantidades significativas de carbono no solo.

**Palavras-chave:** Matéria orgânica. Uso do solo. Atividade enzimática.

## 5.2 ABSTRACT

Increasing organic matter promotes improvements in soil quality, so the adoption of uses and management practices that contribute to the improvement and/or maintenance of soil organic matter and soil quality should be encouraged. This research aimed to evaluate the effect of land use in soil fertility, in nutrient cycling through litter stock, quantify carbon storage, analyse the dynamics of organic matter, assess soil quality indicators (Acid Phosphatase and BetaGlucosidase, Arilsulfatase and Lacase), and other microbiological soil attributes (Microbial Biomass Nitrogen (BMN), Microbial Biomass Carbon (MBC), Soil Basal Respiration (SBR) and Metabolic Ratio ( $qCO_2$ ) in areas with different uses in Rio de Janeiro. The study was conducted in Silva Jardim, located in the region of Baixada Litorânea, in the state of Rio de Janeiro. The evaluated areas are located at Pedacinho do Céu's farm (22°40'22,11"S; 42°25'55,53"W). The soil of the sampled areas were classified as Typic Hapludult. Three areas with different uses were selected, an area with planting of two clones of rubber tree (FX 3864 e IAN 873) with approximately 28 years of implementation, a native forest area and a pasture area with 16 years of implementation. The land use caused difference in fertility attributes, C stocks, granulometric organic fractions, C of humic substances, enzymatic activity and microbiological properties of the soil. The largest stock of litter was quantified in the forest area, followed by pasture, and after by rubber tree plantation. The levels and contents of nutrients in the areas of rubber presented this descending order: N > Ca > Mg > K > P. In the forest and pasture areas, the order was N > Mg > Ca > K > P. N and K were the nutrients that presented the greatest contribution in the latex composition (34.7 and 37.5%), P, Ca and Mg contributed 13.8; 11.1 and 2.7% of the látex composition. The pasture area presented the best soil fertility. The greater stock of litter of the forest area reflected in a higher stock of C in the layer (0-0.010 m), higher carbon content of the granulometric organic fractions and carbon of humic substances in the layers of (0-0.05 m) and (0.05-0.10 m), when compared to other areas. The results of soil  $\delta^{13}C$  show that, with the passage of time, the rubber was able to contribute more than 90% of carbon stored in the soil to a depth of (0-0.4 m). Excluding the carbon derived from grasses, the clone FX 3864 stocked (90.2 Mg ha<sup>-1</sup>) of carbon and the clone IAN 873 (101.5 Mg ha<sup>-1</sup>) in depth (0-40 cm), being superior when compared to the forest (93.9 Mg ha<sup>-1</sup>) and pasture (71.1 Mg ha<sup>-1</sup>) areas. The forest area showed higher activity of phosphatase and  $\beta$ -glucosidase enzymes. Plantations of the tree rubber clones had higher activity of enzymes lipases, esterases and proteases (FDA) and arylsulfatase. The pasture area had the highest C content of microbial biomass (MBC), microbial biomass nitrogen (NBM) and basal respiration (SBR). The land use caused difference in enzyme activity and microbiological soil attributes. The pasture area showed higher C content of microbial biomass (MBC) and higher basal soil respiration (BSR), which reflects a low efficiency of this agro-ecosystem in preserving soil carbon. The culture of rubber tree has shown promising, as a reforestation alternative, to expand the supply of environmental services in grasslands environments with degradation stages, because it can store significant amounts of carbon in the soil.

**Keywords:** Organic matter. Use of soil. Enzimatic activity.

### 5.3 INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas têm provocado uma série de alterações na paisagem terrestre e a agricultura tem contribuído consideravelmente para essas mudanças. Entre eles a perda de solo através da erosão, redução da fertilidade natural, oxidação da matéria orgânica e alterações das atividades microbiológicas no solo.

As conversões de ecossistemas nativos para agricultura contribuem atualmente com aproximadamente 24% das emissões mundiais de CO<sub>2</sub> para a atmosfera segundo estimativas do IPCC (2007). No Brasil, as emissões de gases oriundas da mudança de uso da terra e agricultura são bem mais acentuadas, representando cerca de 75% do total de emissões de CO<sub>2</sub> ( Cerri & Cerri 2007). A adoção de práticas agrícolas que visem à redução das fontes de emissão desses gases é uma alternativa, afinal sabe-se que alguns sistemas agrícolas ou condições de manejos adotados podem potencializar ou mitigar a emissão de gases para a atmosfera (Carvalho et al., 2010).

O processo de fixação de carbono no solo ocorre naturalmente e envolve a transferência do carbono atmosférico para o solo, via humificação da biomassa morta. Da biomassa total depositada 5 a 15% passam pelo processo de humificação, dependendo das características físicas, químicas e biológicas do solo, clima, qualidade e quantidade do material depositado e do manejo e uso do solo (Lal 2006).

Nas regiões tropicais, o aumento dos estoques de matéria orgânica é realizado lentamente e depende de formas de manejo adequadas para que ocorram maiores entradas de matéria orgânica do que saídas, pois a taxa de decomposição é relativamente alta ocasionada pelas condições climáticas como altas temperaturas e precipitação ao longo do ano (Six et al., 2002). A retirada da cobertura florestal com adoção de práticas inadequadas de manejo promove um desequilíbrio, assim o estudo e a compreensão de sua dinâmica no solo são fundamentais para garantir um maior acúmulo no solo e assim garantir a sustentabilidade dos ecossistemas (Cardozo et al., 2010).

Além da redução da matéria orgânica, a falta de práticas conservacionista na agricultura, leva a redução da atividade microbiana prejudicando a sustentabilidade dos ecossistemas. Assim, estudos estão sendo desenvolvidos para detectar práticas agrícolas mais sustentáveis através de métodos indicadores da predição da qualidade do solo em relação às práticas de manejo e uso do solo (Balota et al., 2013). O solo exerce uma ampla função sobre os ecossistemas, dentre essas funções destacam-se o suporte físico para as plantas, retenção e ciclagem de nutrientes, estoque de C entre outros. Para a avaliação de sua qualidade geralmente é preciso reunir um conjunto de características ou indicadores que reflitam seus atributos físicos, químicos e biológicos (Chaer & Tótola 2007).

A manutenção da produtividade dos ecossistemas agrícolas e florestais depende, em grande parte, do processo de transformação da matéria orgânica e, por conseguinte, da biomassa microbiana (Gama-Rodrigues & Gama-Rodrigues, 2008). Os microrganismos são considerados as principais fontes de enzimas do solo, Portanto, o estudo da atividade enzimática tem sido relatado como um bom indicador efetivo da qualidade do solo, da decomposição da matéria orgânica e da disponibilidade de nutrientes decorrentes das práticas de manejo (Evangelista et al., 2012).

A necessidade da conservação da qualidade do solo bem como a quantificação das alterações nos seus atributos devido às formas de manejos aplicados, tem sido amplamente realizada para monitorar a produtividade dos solos (Neves et al., 2007). Indicadores químicos, físicos e biológicos devem ser identificados e analisados quanto à sua sensibilidade a mudanças e perturbações causadas pelo manejo. Alterações no componente biológico que levam a mudanças nas suas funções-chave, como a capacidade de ciclagem e armazenar nutrientes apresentam mais sensibilidade para a avaliação das mudanças qualitativas no solo

referente ao manejo adotado, quando comparados com os químicos ou físicos (Chaer & Tótola 2007).

Os microrganismos do solo e suas comunidades estão continuamente mudando e se adaptando às alterações ambientais. A dinâmica natural desse grupo faz deles indicadores potencialmente sensíveis para se avaliar as mudanças resultantes de diferentes práticas do solo (Facci 2008).

Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar a adição de nutrientes via estoque de serapilheira, a fertilidade do solo, o estoque de C e o comportamento da matéria orgânica, os atributos microbiológicos e atividade enzimática em áreas com diferentes coberturas no município de Silva Jardim – RJ, para entendimento do seu funcionamento e recomendações futuras de uso.

## 5.4 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.4.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

Conforme itens 3.4.1, 3.4.2 e 3.4.3 do Capítulo I.

### 5.4.2 Histórico da Área

Em meados da década de 1980 (cerca de 28 anos) período em que teve o início do incentivo da heveicultura no estado do Rio de Janeiro, foram implantados dois clones de seringueira (IAN 873 e FX 3864) para a produção de látex na propriedade Pedacinho do Céu (22°40'22,11"S; 42°25'55,53"O) (Figura 8), em Silva Jardim (RJ).

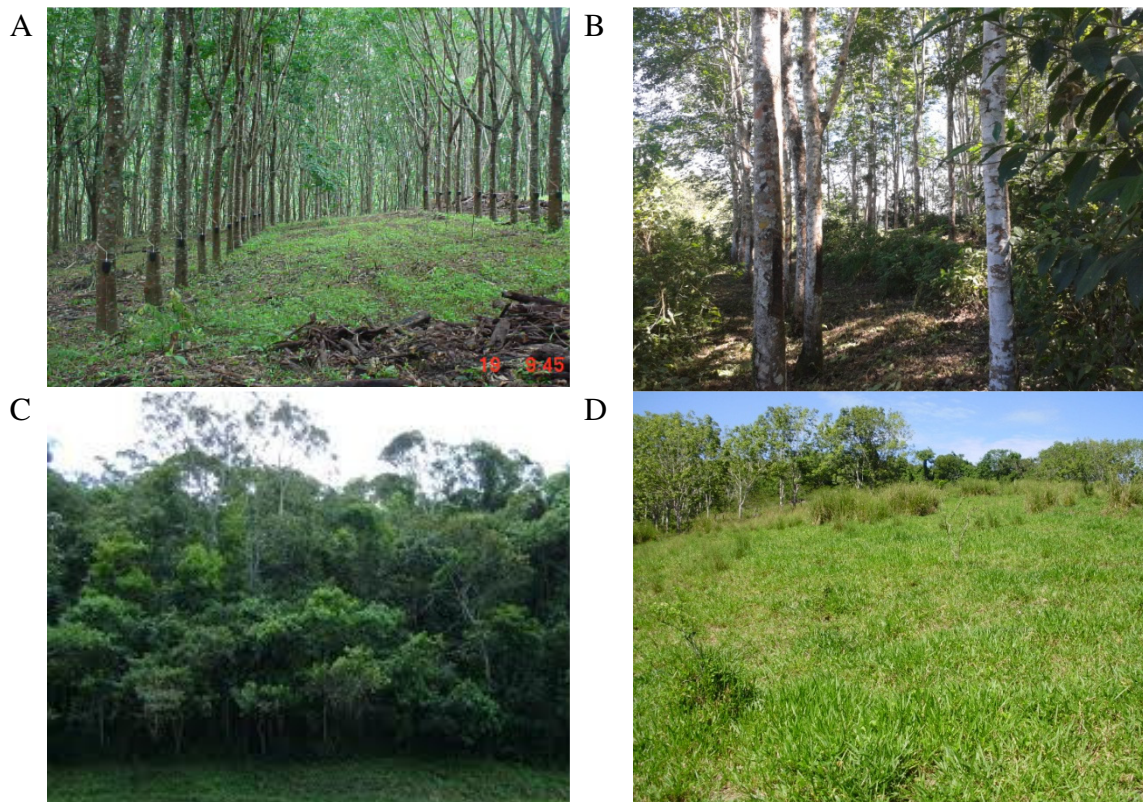
A propriedade possui 4 hectares com plantio de seringueira, dois com o clone FX 3864 e dois com o clone IAN 873, que vem sendo explorados por cerca de oito anos. A área de plantio do clone FX 3864 (Figura 9) apresenta declividade média de cerca de 21%. Durante o ano são realizadas de 2 a 3 roçadas em todo o seu interior, sendo deixados os resíduos vegetais sobre o solo. Já a área do clone IAN 873 apresenta declividade média mais acentuada, de cerca de 37%, assim é realizada somente uma roçada ao ano, somente na linha de plantio (Figura 9).

O espaçamento de plantio utilizado foi o de 3 m entre plantas e 7 m entre linhas de plantio, para uma densidade de 500 plantas por hectare. Não há registros das adubações que foram realizadas na época do plantio e também não é feita nenhuma adubação de cobertura desde a implantação da seringueira.

Além das áreas com plantio de seringueira foram selecionadas duas áreas próximas ao plantio dos clones, uma de mata secundária onde não se sabe exatamente a idade (Figura 9) e uma de pastagem com cerca de 16 anos de implantação e composta predominantemente por *Urochloa* sp.. Na pastagem, além dessa gramínea encontra-se capim rabo de burro (*Andropogon bicornis* L.) e sapê (*Imperata brasiliensis*). A área de pastagem está localizada no topo de morro (platô) e ao longo do ano ocorre o pastejo por rebanho de bovinos. Na época da implantação da pastagem foi aplicada uma calagem e uma adubação com NPK; porém, não existe registro da quantidade de insumos aplicados (Figura 9).



**Figura 8.** Áreas de plantio dos clones de seringueira, mata e pastagem, no município de Silva Jardim - RJ.  
 Fonte: Google Earth 2014.



**Figura 9.** Áreas de plantios dos clones FX 3864 (A), IAN 873 (B), Mata (C) e Pastagem (D), no município de Silva Jardim - RJ. Fotos do autor.

### 5.4.3 Avaliações Realizadas

#### a) Estoque de serapilheira

Em cada área foi coletado o material vegetal depositado sobre o solo com o auxílio de um “gabarito de metal” com área igual a  $0,0625\text{m}^2$ , as amostras foram coletadas em uma única ocasião, em janeiro de 2013. Foram coletadas aleatoriamente três amostras simples para formar uma composta e 10 amostras compostas de serapilheira.

As amostras foram acondicionadas em sacos de papel e encaminhadas para estufa com ventilação forçada, em temperatura de  $65^\circ\text{C}$ , por 48h. Após esse período, foram pesadas para determinação da massa seca das amostras. A partir desses dados, foi determinada a quantidade de massa seca de resíduos vegetais na superfície do solo por hectare, Posteriormente, quantificou-se o estoque de serapilheira pela seguinte expressão:

$$\text{Estoque (Mg ha}^{-1}\text{)} = [(\text{peso material, em Mg} / \text{área do gabarito, em ha}^{-1}\text{)]}$$

#### b) Nutrientes do estoque de serapilheira e do látex

Os teores de nutrientes da serapilheira e do látex foram determinados de acordo o item 3.4.6 no Capítulo II.

#### c) Fertilidade do solo

Para a avaliação da fertilidade do solo foram coletadas 3 amostras simples para compor uma amostra composta; no total foram coletadas 10 amostras compostas nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, em cada área avaliada.

A avaliação química foi realizada conforme descrito no item 3.4.7 do Capítulo I.

#### d) Abundância natural de $^{13}\text{C}$ no perfil do solo

Para a avaliação da abundância natural do  $^{13}\text{C}$  ( $\delta^{13}\text{C}\%$ ) no perfil do solo foram abertas 2 trincheiras em cada área, coletando-se três amostras em cada trincheira. Foram estudados intervalos de profundidades de 10 cm até a profundidade final de 100 cm.

A análise do  $^{13}\text{C}$  ( $\delta^{13}\text{C}\%$ ) foi feita com o auxílio do espectrômetro de massa Finnigan Delta Plus, no Laboratório de Ecologia Isotópica (CENA-USP), em Piracicaba, São Paulo. Os resultados foram expressos na forma de delta  $^{13}\text{C}$  ( $\%$ ), em relação ao padrão internacional PDB (Belemnitella Americana da formação Pee Dee) de acordo com a equação:

$$(\delta^{13}\text{C}\%) = [10^3 \times (\text{R amostra} - \text{R padrão}) / \text{R padrão}]$$

onde: R amostra é a razão isotópica  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  da amostra e  
R padrão a razão isotópica  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  do padrão.

Foram utilizadas para avaliar a contribuição do carbono remanescente da área de mata plantas C3 e para o introduzido pela pastagem plantas C4, coletadas em cada uma das áreas. Os cálculos foram realizados de acordo com Balesdent et al. (1987), mediante as equações:

$$\text{C4 (\%)} = [(\delta^{13}\text{C área avaliada} - \delta^{13}\text{C Mata}) / (\delta^{13}\text{C gram} - \delta^{13}\text{C Mata})] \times 100$$
$$\text{C3 (\%)} = [(100 - \text{C4 (\%)})]$$

Em que: C4 (%) é o carbono oriundo das gramíneas; C3 (%) é o carbono oriundo da mata;  $\delta^{13}\text{C}$  clones: representa os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  das amostras de solo das áreas a serem avaliadas (clones FX 3864 e IAN 873);  $\delta^{13}\text{C}$  mata é o  $\delta^{13}\text{C}$  do solo da área da Mata; e o  $\delta^{13}\text{C}$  gram é o  $\delta^{13}\text{C}$  do material vegetal de gramíneas coletado na área de pastagem ( $-13,68\%$ ).

#### e) Estoque de C no solo

As amostras para determinação dos teores de C orgânico total foram coletadas em mini trincheiras nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm de

profundidade. Foram coletadas 3 amostras simples para compor cada composta, no total foram coletadas 10 amostras compostas em cada área de estudo.

Os teores de C orgânico do solo foram determinados de acordo com o item 3.2.8 do Capítulo I.

Para o cálculo dos estoques de C foi utilizado o método da massa equivalente conforme Sisti et al. (2004), pela equação abaixo,

$$C_S = \sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti} + \left[ M_{Tn} - \left( \sum_{i=1}^n M_{Ti} - \sum_{i=1}^n M_{Si} \right) \right] C_{Tn}$$

em que:

$C_S$  é o estoque total em Mg ha<sup>-1</sup>,

$\sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti}$  é a soma do teor de C da primeira (superfície) a última camada no perfil do solo na área avaliada (Mg ha<sup>-1</sup>),

$\sum_{i=1}^n M_{Ti}$  é a soma da massa do solo da primeira a última camada no perfil do solo na área avaliada (Mg ha<sup>-1</sup>),

$\sum_{i=1}^n M_{Si}$  é a soma da massa do solo da primeira a última camada no perfil do solo no tratamento referência (Mg ha<sup>-1</sup>),

$M_{Tn}$  é a massa do solo na última camada do perfil do solo no tratamento avaliado (Mg ha<sup>-1</sup>),

$C_{Tn}$  é a concentração de C na última camada do perfil da área avaliada (Mg de C por Mg<sup>-1</sup> de solo),

Essa correção deve ser feita quando se comparam diferentes áreas, pois os manejos ocasionam variações na densidade do solo, que deve ser corrigida levando-se em conta as diferenças nas massas de solo no estoque de C.

#### **f) Matéria orgânica leve em água**

As amostras para a determinação da MOL foram as mesmas coletadas para determinação do carbono orgânico total, nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm. Os teores de matéria orgânica leve em água foram determinados de acordo com o item 4.4.6 do Capítulo II.

#### **g) Fracionamento granulométrico da matéria orgânica**

As amostras para o fracionamento granulométrico foram às mesmas coletadas para determinação do carbono orgânico total, nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm. O fracionamento granulométrico da matéria orgânica foi determinado de acordo com o item 4.4.6 do Capítulo II.

#### **h) Fracionamento químico da matéria orgânica**

As amostras para o fracionamento químico foram às mesmas coletadas para determinação do carbono orgânico total, nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm. O fracionamento químico da matéria orgânica foi determinado de acordo com o item 4.4.6 do Capítulo II.



### **i) Avaliação das propriedades microbiológicas do solo**

Para a avaliação das propriedades microbiológicas do solo foram coletadas 10 amostras simples para a composição de uma amostra composta, na profundidade de 0-10 cm e nas áreas de clones de seringueira, pastagem e mata. No total, foram coletadas 5 amostras compostas de 10 amostras simples em cada área avaliada.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, protegidas da luz e mantidas em caixas térmicas com gelo, sendo transportadas para o laboratório no prazo de 24 horas após a coleta no campo. Em seguida, as amostras foram passadas em peneira de malha de 2 mm para a eliminação de raízes e resíduos vegetais. As amostras então foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas sob refrigeração próxima a 4°C.

Para a realização de cada análise microbiológica amostras de terra foram corrigidas em relação a umidade, sendo deixadas com 65 % da sua capacidade máxima de retenção de água.

### **j) Carbono da biomassa microbiana e respiração basal do solo**

A determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM) foi realizada pelo método clorofórmio-fumigação-extração segundo Vance et al. (1987). O extrato obtido em solução de  $K_2SO_4$  0,5 mol L<sup>-1</sup> foi analisado por colorimetria de acordo com (Bartlett & Ross, 1988). Os valores de CBM foram obtidos aplicando-se um Kc igual a 0,35, conforme Anderson et al. (2008). O resultado do CBM foi expresso em mg de C microbiano kg<sup>-1</sup> de solo seco.

A taxa de respiração basal do solo (RBS) foi quantificada pelo método de incubação do solo com armadilha de CO<sub>2</sub> com NaOH seguida de titulação com HCl (Silva et al., 2007). A taxa de respiração foi medida ao longo de 10 dias de incubação a 25°C em frascos de 2 L<sup>-1</sup> hermeticamente fechados e mantidos no escuro. O C respirado foi expresso em µg CO<sub>2</sub>-C kg<sup>-1</sup> solo seco h<sup>-1</sup>. O quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) foi calculado pela razão entre a RBS e o CBM.

### **l) Avaliação da atividade enzimática**

A atividade microbiana global do solo foi mensurada através da determinação da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) (Scnhürer & Rosswall, 1982). Duas replicatas foram usadas para cada amostra. Os resultados foram expressos em µmols de fluoresceína g<sup>-1</sup> solo seco h<sup>-1</sup>.

As atividades de enzimas hidrolíticas associadas ao ciclo do carbono e do fósforo foram determinadas colorimetricamente a partir da degradação de substratos artificiais em condições reacionais ótimas. As enzimas e substratos utilizados foram: (i) fosfatase, analisada com 4-Nitrofenil fosfato hexa-sal dissódico; (ii) β-glucosidase, analisada com 4- Nitrofenil β-D-glucopiranosídeo; (iii) lacase, analisada com 3,4-Dihydroxy-L-fenilalanina (L-DOPA).

A atividade das enzimas fosfatase ácida e β-glucosidase foram avaliadas espectrofotometricamente, de acordo com Tabatabai et al. (1994) e Eivazi & Tabatabai (1988), respectivamente. A análise de fosfatase foi realizada em meio não tamponado utilizando-se duas replicatas em tubos de ensaio contendo 0,5 g de solo, 1 mL<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O seguido de 1 mL<sup>-1</sup> do substrato na concentração de 50 mM. As amostras foram incubadas a 30° C por 1h e a reação paralisada após esse período com 0,5 mL<sup>-1</sup> de CaCl<sub>2</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup> e 2 ml de NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup>.

A análise da β-glucosidase foi realizada sob as mesmas condições da análise da fosfatase à exceção do uso de tampão acetato de sódio 100 mM pH 5,5 no meio de reação e incubação a 30° C por 2h.

Os controles consistiram de amostras de solo adicionadas de 2 mL<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O ou 2 mL<sup>-1</sup> do tampão acetato, para fosfatase ácida e β-glucosidase, respectivamente. Um tubo sem amostra contendo 1 mL<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O (ou tampão acetato para a β-glucosidase) e 1 mL<sup>-1</sup> de

substrato foi utilizado como branco. Todas as amostras foram centrifugadas e lidas em espectrofotômetro com absorvância de 410 nm.

A quantidade de p-nitrofenol formada em cada amostra foi determinada com base em uma curva padrão com concentrações conhecidas de p-nitrofenol, e os resultados foram expressos em  $\mu\text{mols p-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo seco h}^{-1}$ .

A atividade da arilsulfatase foi determinada segundo Tabatabai et al. (1994), usando o p-nitrofenil sulfato como substrato que, via hidrólise, libera sulfato e p-nitrofenol, o qual pode ser medido colorimetricamente. As amostras de terra foram incubadas por 1 h a 37°C.

A atividade da lacase foi mensurada por espectrofotometria em duas replicatas de tubos de ensaio contendo 0,5 g de solo (Sinsabaugh et al., 1999). Foi adicionado 1 mL<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O a cada uma das amostras seguidas de 1 mL<sup>-1</sup> do substrato preparado em tampão acetato 5 mM pH 5. Nos controles com amostra foram adicionados 1 mL<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O seguido de 1 mL<sup>-1</sup> de tampão acetato.

Após 1 hora de incubação a 30°C, a paralisação da reação foi feita com adição de 1 mL<sup>-1</sup> de azida sódica 0,6% (w/v). Finalmente, as amostras foram centrifugadas e analisadas em espectrofotômetro a 460 nm. A quantidade de dihydroindole-quinone-carboxylate (DIC) formado foi determinada baseada no coeficiente de extinção micromolar de 1,6 (Sinsabaugh et al., 1999). A atividade de lacase foi expressa em nmol DIC g<sup>-1</sup> de solo seco h<sup>-1</sup>.

#### **m) Análise granulométrica**

As análises foram realizadas segundo métodos de rotina segundo Embrapa (1997).

#### **5.4.4 Análises Estatísticas**

Os resultados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade dos dados através dos testes de Lilliefors e Cochran, respectivamente. A seguir foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores médios comparados entre si pelo teste de Tukey a 5%.

## 5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.5.1 Estoque de Serapilheira

O estoque de serapilheira apresentou diferença estatística significativa entre as áreas de estudo conforme indicado na (Tabela 15). A área de mata, devido a sua maior densidade de indivíduos, maior porte das plantas e considerando uma idade mais avançada, contribuiu para que ocorresse uma maior biomassa, o que proporcionou maior deposição de material vegetal sobre o solo em comparação às demais áreas.

**Tabela 15.** Estoque e relação C/N da serapilheira em áreas com diferentes usos do solo.

Áreas	Estoque Mg ha <sup>-1</sup>	Relação C/N
IAN 873	2,0c	23,3b
FX 3864	2,2c	22,7b
MATA	6,3a	21,9b
PASTAGEM	3,4bc	47,9a
CV%	23,0	12,5

Valores seguidos da mesma letra, na coluna, não apresentam diferença a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A área de pastagem apresentou estoque de serapilheira 53,5% superior aos clones de seringueira. Esse fenômeno é devido ao intenso processo de renovação da biomassa da pastagem e sua maior relação C/N o que leva a uma constante deposição de material vegetal mais resistente a decomposição sobre o solo. As gramíneas contribuem com quantidades relativamente elevadas de fitomassa, de alta relação C/N, o que pode aumentar a persistência da cobertura do solo (Perin et al., 2004) e levar ao aumento do estoque de serapilheira.

Outro aspecto que também deve ser levado em consideração foi à época em que foi feita a amostragem do estoque de serapilheira (janeiro). Nesta época do ano, na região da Baixada Litorânea, os clones de seringueira já passaram pelo processo de quedas das folhas que ocorrem nos meses de agosto e setembro e assim as plantas estão com todas as folhas que compõem a sua copa formadas e maduras e não estão em processo de senescência o que contribuiria para acréscimos significativos para o estoque de serapilheira.

Os baixos estoques de serapilheira também podem ser decorrentes da localização da área de estudo (Baixada Litorânea) que apresenta ao longo do ano elevadas temperaturas e uma precipitação média anual elevada (aproximadamente 1500 mm) contribuindo para uma taxa de decomposição mais rápida da serapilheira.

A produção de serapilheira pode ser influenciada por diversos fatores bióticos e abióticos ao longo do ano, dentre eles destacam-se o tipo de vegetação, o estágio sucessional, característica de deciduidade, relevo, temperatura, disponibilidade de luz, idade entre outros (Brun et al., 2001; Vital et al., 2004; Castanho, 2005; Fernandes et al., 2006).

A cultura da seringueira apresenta uma carência muito grande em relação a estudos que quantifiquem os estoques de serapilheira nos plantios, no Brasil foi desenvolvido um trabalho semelhante por Kindel et al. (2006) que quantificou o estoque de serapilheira na Zona da Mata Mineira em plantios de dois clones IAN 873 e RRIM 600, com 15 anos de idade e foram quantificados, respectivamente 1,0 e 1,4 Mg ha<sup>-1</sup> de serapilheira. O mesmo padrão de estoque de serapilheira foi relatado por Murbach et al. (2003) em seringal com 15 anos de idade em Rio Claro – SP, onde foi quantificado 1,7 Mg ha<sup>-1</sup> de serapilheira. Os valores dos estoques de serapilheira encontrados em Silva Jardim são semelhantes aos encontrados na Zona da Mata Mineira e em Rio Claro, apontando uma similaridade de estoque para a cultura.

Dados apresentados por Borém & Ramos (2002), mostraram que o estoque de serapilheira em algumas florestas tropicais do Brasil variaram de 5,6 a 31,2 Mg ha<sup>-1</sup>. Já Correia & Andrade (2008), relataram que o acúmulo de serapilheira em ambientes tropicais variaram de 3,6 a 12,4 Mg ha<sup>-1</sup>. Outros trabalhos realizados em florestas nativas do Brasil corroboraram os resultados apresentados por Borém & Ramos (2002) e Correia & Andrade (2008), ao verificarem valores de estoque entre 4,20 a 11,6 Mg ha<sup>-1</sup>, como os de Cunha et al. (2009), Sperandio et al. (2012); Cunha Neto et al. (2013).

Em comparação a formações florestais nativas do Brasil, a seringueira apresentou estoques de serapilheira inferiores, porém ao longo de seu ciclo de vida (35 anos) a cultura pode contribuir com significativa deposição de serapilheira sobre o solo, levando ao aumento da matéria orgânica, melhorando a estrutura do solo e protegendo-o contra os efeitos erosivos.

### 5.5.2 Nutrientes no Estoque de Serapilheira

A quantidade dos teores dos nutrientes nas áreas dos clones de seringueira seguiu a ordem decrescente N > Ca > Mg > P > K; ao passo que na mata e pastagem a ordem foi de N > Mg > Ca > K > P (Tabela 16).

Os teores de nutrientes da serapilheira entre os clones apresentaram diferença estatística. O clone FX 3864 apresentou maiores teores de P e K, enquanto que o clone IAN 873 apresentou maiores teores de Ca. A diferença entre esses nutrientes pode ser em função das características diferenciadas dos clones em termos de exigências nutricionais, capacidade de extração de nutrientes do solo, ou ainda de reciclagem interna.

**Tabela 16.** Teores e conteúdos de nutrientes do estoque de serapilheira em áreas com diferentes usos do solo.

	Nutrientes	FX 3864	IAN 873	MATA	PASTAGEM	CV%
<b>Teores (g kg<sup>-1</sup>)</b>	N	14,0b	11,5b	18,0a	9,4c	20,0
	P	2,8a	1,3b	0,45d	0,60c	7,8
	K	2,1a	1,8b	1,3c	1,2c	17,0
	Ca	6,2c	7,8b	10,4a	3,1d	24,0
	Mg	4,3c	4,5c	12,8a	8,1b	22,7
<b>Conteúdo (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	N	30,8b	23,0b	113,4a	32,0b	25,1
	P	6,2a	2,6a	2,8a	2,0a	28,0
	K	4,6b	3,6b	8,2a	4,1b	23,5
	Ca	13,6b	15,6b	65,5a	10,5b	25,1
	Mg	9,5b	9,0b	80,6a	27,5b	21,1

Valores seguidos da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, CV% - coeficiente de variação.

Outro aspecto relevante que também deve ser levado em consideração é a diferença de manejo nas áreas. Na área do clone FX 3864, devido a sua menor declividade, são realizadas de 2 a 3 roçadas anuais e os resíduos vegetais são deixados sobre o solo; na área do clone IAN 873 é realizada somente uma roçada no ano e na linha de plantio. Assim, a deposição dos resíduos está proporcionando adições de nutrientes do solo beneficiando o clone FX 3864.

Ao avaliar os teores de nutrientes na serapilheira de clones de seringueira com 13 anos de idade em Rio Claro – SP, Murbach et al. (2003) também relatam maiores teores dos nutrientes N e Ca. Os teores dos nutrientes da serapilheira dos clones de Silva Jardim foram

superiores aos teores descritos por Murbach et al. (2003) onde foram quantificados: 13,1; 0,9; 1,1; 24,0; e 4,8 g Kg<sup>-1</sup> de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente.

Os clones apresentaram maiores teores dos nutrientes N, P, K e Ca na serapilheira do que a pastagem. Esses maiores teores na serapilheira leva a crer que a seringueira apresente menor translocação de nutrientes, principalmente de folhas, quando comparada às gramíneas.

A área de mata apresentou maiores teores dos nutrientes N, Ca e Mg quando comparada as demais áreas. O maior estoque de serapilheira na área de mata (Tabela 15) favorece uma maior ciclagem de nutrientes e maior adição de matéria orgânica no solo, o que leva a uma maior disponibilidade de N para as plantas, O maior estoque de serapilheira na área da mata também refletiu nos maiores conteúdos dos nutrientes N, K, Ca e Mg. O P apresentou o menor conteúdo dentre os elementos estudados, fato que pode estar associado a fixação desse elemento no solo ou na biomassa.

A disponibilização dos nutrientes presentes na serapilheira irá depender da quantidade e da velocidade de decomposição que dependerá especialmente da sua composição química (Vieira et al., 2010). Estudos como os de Neves et al. (2001); Schumacher et al. (2004) e Vieira et al. (2010) relatam que os teores de nutrientes da serapilheira depende da vegetação, da densidade populacional, da habilidade da espécie em absorver e translocar os nutrientes antes da senescência foliar.

### 5.5.3 Teores de Nutrientes no Látex

Os clones de seringueira apresentaram baixos teores de nutrientes na composição do látex (Tabela 17) e os mesmos não apresentaram diferença estatística nos teores de nutrientes,

Os nutrientes no látex seguiram a ordem decrescente - K > N > P > Ca > Mg. Os teores dos nutrientes do látex foram similares aos resultados de Murbach et al. (2003), que encontraram valores de 2,80; 1,09; 2,95; 0,84 e 0,21 g kg<sup>-1</sup> em plantio no estado de São Paulo.

**Tabela 17.** Teores de nutrientes no látex de diferentes clones de seringueira,

Clones	N	P	K	Ca	Mg
	g kg <sup>-1</sup>				
IAN 873	2,5	1,0	2,7	0,80	0,20
FX 3864	2,8	1,2	2,9	0,95	0,25

O látex apresentou em média 0,26% de N; 0,11% de P; 0,28% de K; 0,088% de Ca e 0,022% de Mg. Se considerarmos uma produção média de 1500 kg de borracha seca por hectare ano, a seringueira exporta na borracha em média 4 kg de N; 1,7 kg de P; 4,2 kg de K; 1,3 kg de Ca e 0,34 kg de Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

### 5.5.4 Fertilidade do Solo

As áreas com seringueira, mata e pastagem apresentaram diferenças estatísticas em relação à fertilidade do solo nas diferentes camadas. O manejo dos dois plantios de seringueira gerou diferença estatística na fertilidade do solo entre os clones (Tabela 18).

Nas áreas de mata e seringueira, nas camadas do solo avaliadas, os valores de Mg<sup>+2</sup>, Ca<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup>, S e V% foram estatisticamente inferiores aos da área de pastagem. Essa diferença é devida a maior diversidade de espécies florestais que compõem a mata e que possuem níveis de extração de nutrientes do solo diferenciados, os quais refletem na maior extração de bases devido a maior demanda por nutrientes em comparação as gramíneas.

**Tabela 18.** Atributos químicos e granulometria do solo em áreas com diferentes usos.

Área	pH H <sub>2</sub> O	P mg dm <sup>-3</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	S	T	V %	Argila	Silte	Areia
0-5 cm														
IAN 873	4,6b	1,0b	1,2b	0,8c	0,5b	0,0a	1,0b	4,6b	2,5c	7,1c	35,2c	294b	154a	552a
FX 3864	4,7b	1,6a	1,5ab	1,6b	0,7a	0,0a	0,6c	2,9c	4,5b	7,4c	60,8b	324a	159a	514b
PASTAGEM	5,5a	1,0b	1,9a	3,3a	0,8a	0,0a	1,0b	2,1c	7,0a	9,1b	74,3a	290b	138a	577a
MATA	4,5b	1,5a	1,6a	0,8c	0,4b	0,0a	1,6a	14,0a	3,0c	17,0a	18,0d	394a	134a	471c
5-10 cm														
IAN 873	4,5b	1,0a	0,8c	0,6c	0,3c	0,0a	1,1b	4,1b	1,7c	5,8c	29,4c	321b	154a	525a
FX 3864	4,5b	1,4a	1,1ab	0,9b	0,5b	0,0a	0,9c	2,7c	2,7b	5,4c	49,8b	352a	166a	483b
PASTAGEM	5,3a	0,6b	1,4a	3,2a	0,7a	0,0a	0,5d	2,4c	6,2a	8,6b	72,0a	295b	155a	550a
MATA	4,5b	1,0a	0,6c	0,3d	0,2c	0,0a	1,8a	11,0a	1,2c	12,1a	9,0d	337a	132a	530a
10-20 cm														
IAN 873	4,5b	1,0b	0,5ab	0,4ab	0,3b	0,0a	1,0b	3,9b	1,2b	5,1c	23,5c	373a	129b	497a
FX 3864	4,3c	1,2a	0,6b	0,5b	0,5a	0,0a	1,0b	2,8c	1,6b	4,4d	36,4b	371a	148a	480b
PASTAGEM	5,0a	0,4c	1,3a	2,8a	0,6a	0,0a	0,8d	2,2c	5,1a	7,3b	62,2a	327b	175a	497a
MATA	4,4b	0,7b	0,4c	0,2c	0,1c	0,0a	2,0a	9,0a	0,7c	9,7a	7,2d	368a	163a	520a
20-40 cm														
IAN 873	4,4a	0,8a	0,4b	0,4b	0,2c	0,0a	1,0b	3,2b	1,0b	4,2c	23,8c	450a	115b	439a
FX 3864	4,2a	0,8a	0,4b	0,4b	0,5b	0,0a	1,0b	2,0c	1,3b	3,3d	39,0b	412a	154a	433a
PASTAGEM	5,0a	0,4b	1,1a	1,6a	0,7a	0,0a	0,3d	1,7c	3,4a	5,1b	65,8a	405a	127b	467a
MATA	4,6a	0,2c	0,3b	0,2b	0,1d	0,0a	2,0a	6,5a	0,6c	7,1a	8,5d	446a	120b	456a

\*Valores seguidos da mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A área de pastagem apresentou valores de pH estatisticamente superiores as demais áreas de estudo nas diferentes camadas avaliadas, o que pode ser decorrente da aplicação de calagem e adubação do solo na implantação da pastagem na área. Outros fatores que também podem estar contribuindo para a melhoria da fertilidade do solo na pastagem é a sua posição na paisagem, no topo do morro, e a adição de nutrientes via excrementos dos animais, além da menor exportação de nutrientes pela pastagem na biomassa.

De acordo com Davidson et al. (2007), ocorre maior extração de nutrientes nas áreas de espécies florestais devido a retenção de nutrientes principalmente nos compartimentos de maior biomassa vegetal como troncos e galhos e em menor quantidade na serapilheira.

Os maiores valores de  $Al^{3+}$  e H+Al foram encontrados na mata, em todas as profundidades avaliadas (Tabela 18). A cobertura florestal contribui para o processo de acidificação do solo, pois a atividade das raízes em camadas mais profundas do solo e a grande concentração de raízes finas em contato com a serapilheira é responsável pelo fluxo de prótons no processo de absorção de nutrientes intensificando a acidificação do solo (Fujii et al., 2008). O maior estoque de serapilheira sobre o solo na área de mata (Tabela 15) contribui para maiores entradas de matéria orgânica no solo, e durante os processos de humificação ocorre a formação de ácidos orgânicos (ácido fúlvico e ácido húmico) que em pH acima de 3,5 apresentam a dissociação de  $H^+$  que causam o processo de acidificação do solo (Mendonça et al., 2006). Além disso, a matéria orgânica do solo retém grandes quantidades de  $Al^{3+}$  e H+Al através de seus grupamentos funcionais que possibilita a complexação e a formação de quelatos com  $Al^{3+}$  nos grupamentos carboxílicos e fenólicos (Silva & Mendonça 2007) e que é extraído pela solução extratora nas determinações de  $Al^{3+}$ .

As diferenças no manejo da vegetação espontânea nas áreas de seringueira geraram diferenças significativas nos atributos químicos do solo (Tabela 18). A deposição de resíduos vegetais oriundos das roçadas em toda a área (2 a 3 roçadas ao ano) na área do clone FX 3864, ocasionou melhorias na fertilidade do solo. Até a camada de 10-20 cm, os clone FX 3864 apresentou valores de P, Mg, Ca, K, S e V% superiores e  $Al^{3+}$  e H+Al inferiores ao clone IAN 873. Outro fator que pode ter levado a essa diferença é a capacidade de extração de nutrientes diferenciada que pode existir entre os dois clones.

Os valores de P do solo nas áreas de mata e do clone FX 3864 foram superiores a área do clone IAN 873 e da pastagem, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm. Esse resultado é explicado pelo maior aporte de matéria orgânica dessas áreas, que contribui para maior intensidade do processo de humificação, contribuindo para a disponibilização de P para as plantas.

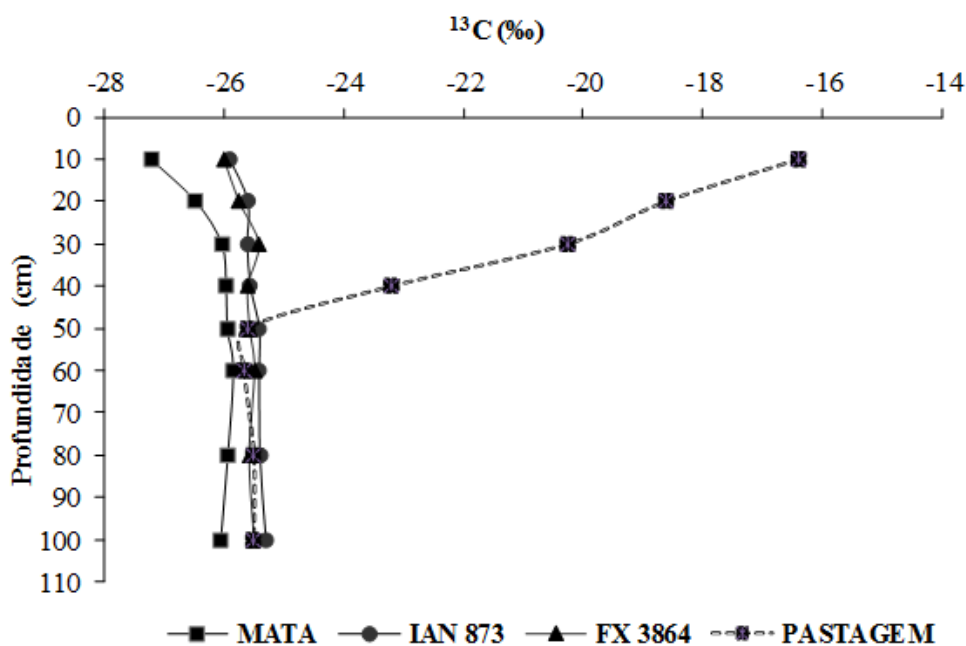
Os maiores teores de P das áreas de mata e do clone FX 3864 em comparação às demais áreas podem ser consequência dos maiores aportes de material vegetal, que contribuem para o processo de humificação. Segundo Guppy et al. (2005), a adsorção competitiva entre o fósforo e os ácidos orgânicos pelos sítios de adsorção do solo resulta no aumento da concentração de P na solução. Além disso, ácidos orgânicos de alta massa molecular como os ácidos fúlvicos e húmicos podem ainda complexar cátions metálicos como Fe e Al da superfície de carga dos colóides no solo, reduzindo o número de sítios de adsorção, aumentando a disponibilidade desse nutriente às plantas (Guppy et al., 2005).

Estudos como o Cheng et al. (2007) afirmam esses resultados e mostram redução na fertilidade do solo em função do avanço da idade dos plantios de seringueira, devido a maior alocação de nutrientes na biomassa e látex.

### 5.5.5 Abundância Natural de $^{13}C$ no Perfil do Solo

Os dados de abundância natural do  $\delta^{13}C$  para avaliação da contribuição da seringueira e mata (plantas C3) e da pastagem (plantas C4) no C do solo estão indicados na Figura 10.

Na área de mata ocorre aumento nos valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , da profundidade de 0-10 cm para a de 10-20 cm (-27,2 ‰ para -26,5 ‰), estabilizando-se nas demais profundidades até os 100 cm. A área com clones de seringueira permaneceu estável até a profundidade de 100 cm. Na área de mata foram observados os menores valores de  $\delta^{13}\text{C}$  indicando a maior contribuição de plantas (C3). Comportamento contrário é observado na área de pastagem, onde a diminuição é mais expressiva e atinge maior profundidade (de -16,4 ‰ em 0-10, em -18,6 ‰ em 10-20, em -20,2 ‰ em 20-30 e -23,1 ‰ em 30-40 cm), com tendência de estabilização a partir da profundidade de 50 cm.



**Figura 10.** Abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  no perfil do solo em diferentes áreas.

Na profundidade de 0-40 cm, constatam-se maiores valores da abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  (‰), na pastagem em relação à mata e a seringueira, o que indica a contribuição de C oriundo das gramíneas (Figura 10). Já nas profundidades de 60-100 cm, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  foram similares entre as áreas, indicando que, nestas camadas, a contribuição de C de espécies do ciclo fotossintético C3 (área de mata e seringueira) é mais efetiva (Figura 10).

Esse padrão de diminuição do  $\delta^{13}\text{C}$  em profundidade foi semelhante ao constatados por outros autores em áreas de Floresta Atlântica (Balbinot, 2009; Coutinho et al., 2010; Torres, 2011) e em plantios de seringueira com 15 anos de idade (Maggiotto et al., 2014). Esses estudos também expressam a maior influência de plantas do ciclo fotossintético C3 no aporte de matéria orgânica nas camadas superficiais do solo em áreas com predomínio de espécies florestais.

O comportamento em profundidade do  $\delta^{13}\text{C}$  mostra as mais expressivas modificações de  $\delta^{13}\text{C}$  até a profundidade de 50 cm, com tendência de estabilização nas camadas subsequentes (Tarré et al., 2001).

Os resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  mostram que, com o passar do tempo, a seringueira foi capaz de contribuir para o incremento e manutenção do C derivado de plantas C3 (C nativo + seringueira) estocado no solo. Porém, ainda existe contribuição de C proveniente das gramíneas (plantas C4) na área de seringueira até 0-40 cm, pois essas plantas crescem no interior dos plantios de seringueira devido ao seu grande espaçamento.



**Tabela 19.** Origem do C estocado no solo sob diferentes áreas e profundidades.

Prof. (cm)	FX 3864		IAN 873		MATA		PASTAGEM	
	%	Mg ha <sup>-1</sup>	%	Mg ha <sup>-1</sup>	%	Mg ha <sup>-1</sup>	%	Mg ha <sup>-1</sup>
<b>C-C3</b>								
0-10	91	25,4	90,3	22,5	100,0	35,3	20,0	3,9
10-20	94,4	24,5	93,2	25,4	100,0	24,6	38,6	7,7
20-40	96,3	40,3	96,2	53,6	100,0	34	65,0	20,6
<b>C-C4</b>								
0-10	9,0	2,5	9,7	2,4	0,0	0,0	80,0	15,5
10-20	5,6	1,5	6,8	1,9	0,0	0,0	61,4	12,2
20-40	3,7	1,5	3,7	2,1	0,0	0,0	35	11,0

\*C-C3 – carbono derivado de plantas C3; C-C4 – carbono derivado de plantas C4.

A substituição do C do solo de gramíneas por C derivado de floresta (C4) foi avaliada por Coutinho et al. (2010), os autores relatam que após 35 anos de regeneração florestal até a profundidade de 60 cm, 100% do C do solo da pastagem foi substituído pelo C das espécies arbóreas. Em plantios de seringueira com 4 e 15 anos de idade no estado do Paraná, Maggioletto et al. (2014) avaliaram os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  do solo até a profundidade de 60 cm e determinaram que os plantios de 4 e 15 anos de idade de seringueira substituíram, respectivamente, 57 e 82% do C derivado da pastagem.

Em relação ao estoque total de C no solo (C3+C4) na camada de 0-10 cm de profundidade os clones FX, IAN e a pastagem apresentaram uma taxa anual de perda de C de 0,26; 0,37 e 0,99 Mg ha<sup>-1</sup> em relação a área de mata. Na camada de 10-20 cm, ambos os clones FX e IAN apresentaram uma taxa anual de ganho de C de 0,05 e 0,09 Mg ha<sup>-1</sup> em comparação a pastagem, a área de pastagem ainda apresentou uma taxa anual de perda de C de 0,29 Mg ha<sup>-1</sup>. Já a camada de 20-40 cm os clones FX e IAN apresentaram uma taxa de ganho anual de 0,27 e 0,77 Mg ha<sup>-1</sup> em relação a pastagem, a pastagem ainda apresentou uma taxa de perda anual de C de 0,15 Mg ha<sup>-1</sup> em comparação a mata.

### 5.5.6 Estoque de Carbono no Solo

Os teores de C orgânico total bem como os seus respectivos estoques apresentaram diferença estatística nas diferentes camadas avaliadas, indicando influencia do uso do solo na dinâmica da matéria orgânica (Tabela 20).

A área de mata na camada de (0-10 cm) apresentou teores de C significativamente superiores às demais áreas avaliadas. A maior deposição de serapilheira contribui para o maior estoque de serapilheira (6,3 Mg ha<sup>-1</sup>) sobre o solo (Tabela 15) conferindo uma maior entrada de matéria orgânica no solo.

Semelhantemente, maiores valores nos estoques de C na camada superficial do solo foram encontrados em áreas de Floresta Estacional quando comparados à área de pastagens devido a maior deposição de material vegetal sobre o solo (Loss et al., 2006; Guareschi et al., 2014).

Os menores teores de C nas áreas de seringueira na camada de 0-10 cm em relação a área de mata podem ser atribuídos a menor densidade de indivíduos (500 indivíduos por hectare), a menor diversidade de espécies e a menor idade associados a fatores como temperatura e umidade no interior do plantio o que reflete em um menor estoque de serapilheira (Tabela 15) que é a principal via entrada de matéria orgânica nesses plantios.

**Tabela 20.** Teores e estoques de carbono em áreas sob diferentes usos do solo.

	<b>Prof. (cm)</b>	<b>FX 3864</b>	<b>IAN 873</b>	<b>MATA</b>	<b>PASTAGEM</b>
<b>COT</b> <b>(g kg<sup>-1</sup>)</b>	0-5	29,6b (±0,65)	24,8c (±0,38)	37,2a (±1,09)	19,0d (±0,32)
	5-10	25,0b (±0,27)	23,8b (±0,56)	31,8a (±1,81)	18,8c (±0,31)
	10-20	21,0a (±0,43)	22,2a (±0,55)	20,2a (±1,65)	16,0b (±0,45)
	20-40	15,3b (±0,60)	18,4a (±0,38)	15,5b (±1,53)	12,3c (±0,21)
	CV%	5,5	8,7	6,8	15,6
<b>ESTOQUE</b> <b>(Mg ha<sup>-1</sup>)</b>	0-5	14,8a (±0,40)	12,4b (±0,26)	15,4a (±0,21)	9,5c (±0,58)
	5-10	13,1b (±0,20)	12,5b (±0,40)	15,3a (±0,22)	9,9c (±1,0)
	10-20	26,0a (±0,65)	27,3a (±0,77)	24,6b (±0,65)	20,0c (±3,0)
	20-40	41,8b (±1,65)	55,7a (±1,06)	34,0c (±0,63)	31,7d (±1,45)
	0-40	95,7b (±2,0)	108,0a (±1,20)	89,3c (±1,05)	71,1d (±3,57)
	CV%	9,5	11,7	23,8	21,6

Valores seguidos da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, CV% - coeficiente de variação. Valores em parênteses representam o erro padrão da média.

Porém, na camada de 10-20 cm, os teores de C da seringueira já foram estatisticamente iguais à área de mata. Já na camada de 20-40 cm o clone IAN 873 apresentou maiores teores de C em relação à mata e o clone FX 3864 apresentou teores de C iguais à área de mata. Aumentos nos teores de C, sob plantios de seringueira com o avanço da idade é relatado por Njair et al. (2011), que relataram aumentos de 80% nos teores de C na camada de 0-10cm em plantios de seringueira, em 16 anos, na Nigéria.

O aumento dos teores de C em profundidade nas áreas de seringueira pode ser um padrão da espécie que pode apresentar uma grande biomassa de raízes finas com um processo de renovação muito rápido, além de uma intensa exsudação compostos orgânicos pelas raízes contribuindo para o aumento nos teores de C em profundidade.

O mesmo padrão de aumento de C em profundidade foi relatado por Carvalho et al, (2012), que avaliou os estoques de C na área de plantio de eucalipto com regeneração de espécies nativas, com 35 anos de idade, e encontrou estoques de C nas camada de 30, 40 e 60 cm, superiores a área de floresta natural.

Os resultados apresentados na (Figura 10) nos permite fazer inferência sobre o aumento do estoque de C em profundidade (20-40 cm) na área de seringueira em relação à mata, eles podem ser justificados pela semelhança do sinal de <sup>13</sup>C entre essas áreas nessas profundidades (40-100 cm) que demonstram que o C esta sendo estocado por plantas do ciclo fotossintético C3, o que confirma o potencial da cultura da seringueira em estocar C em profundidade e elimina a participação de raízes de pastagem, visto que essa só interferiu no aporte de C até os 40 cm do perfil do solo. Resultados semelhantes são expostos por Coutinho et al. (2010) e Carvalho (2012) que também constataram que a pastagem não modificou os estoques de C derivados da floresta original, abaixo de 40 cm, e manteve a incorporação de C apenas nas camadas mais superficiais.

Os teores de C foram significativamente diferentes entre as áreas de seringueira, essa diferença foram devidos ao manejo aplicado à vegetação espontânea das áreas, onde área que recebe duas roçadas ao ano (Clone FX 3864) apresentou maiores teores de C na camada de (0-10 cm) devido a adição de matéria orgânica em relação à área do clone IAN 873 que recebe apenas uma roçada ao ano.

As áreas de seringueira apresentaram um estoque de C no solo superior à área de pastagem, esses resultados corroboram com os de Portugal et al. (2008) e Maggiotto et al. (2014) que também relataram estoques de C em área com plantio de seringueira superiores a áreas de pastagem. De acordo com os autores, a seringueira apresenta um potencial para preservar e ou recuperar os teores de C, ao passo que a pastagem apresentou potencial limitado de manutenção de C no solo.

Os menores teores de C da área de pastagem podem ser influência da maior relação C/N da sua serapilheira (Tabela 15) que impede uma decomposição mais rápida dos resíduos vegetais impedindo assim incrementos nos teores de C do solo sendo necessário um maior tempo para que se iniciem mudanças nos teores de C e nos seus estoques.

O menor teor de C na área de pastagem demonstra o impacto negativo ocorrido no solo após a conversão da floresta em pastagem, podendo ocasionar menor ciclagem de nutrientes na área de pastagem quando comparada às áreas de floresta (mata e seringueira).

A área de mata apresentou maior estoque de C na camada de 0-10 cm em comparação às demais áreas (Tabela 20). O maior estoque foi em decorrência dos maiores teores de C na camada superficial do solo que recebe uma maior adição de matéria orgânica oriunda da decomposição do estoque de serapilheira que também foi superior nessa área (Tabela 8).

Nas camadas subsuperficiais do solo 10-20 cm e 20-40 cm os estoques de C das áreas de seringueira foram superiores a área de mata e pastagem (Tabela 20).

As áreas de seringueira estocaram significativas quantidades de C por hectare na camada de 0-40 cm, descontando o C derivado das gramíneas, o clone FX 3864 estocou (90,2 Mg ha<sup>-1</sup> de C) e o clone IAN 873 (101,5 Mg ha<sup>-1</sup> de C).

Na China em plantios de seringueira com 28 anos de idade, Yang et al. (2005), quantificaram um estoque de 60 Mg ha<sup>-1</sup> de C na camada de 0-60 cm. Ainda na China, o estoque de C em plantios com média de 33 anos de idade foi determinado por Blécourt et al. (2013) o estoque correspondeu a 60 Mg ha<sup>-1</sup> na camada de 0-60 cm. Em plantios na Índia com 50 anos de idade, o estoque de C foi quantificado por Saha et al. (2010) e os autores relataram um estoque equivalente a 73 Mg ha<sup>-1</sup> na camada de 0-50 cm. No estado do Mato Grosso, Wauters et al. (2008) relatam que o estoque de C no solo em plantios de seringueira com 25 anos de idade correspondeu a 105,6 Mg ha<sup>-1</sup> na camada de 0-60 cm. Avaliando o estoque de C em plantio de seringueira com 15 anos de idade até a profundidade de 0-60 cm no Paraná, Maggiotto et al. (2014) quantificaram um estoque de 79,3 Mg ha<sup>-1</sup> de C.

A variabilidade dos teores e estoques de C no solo encontradas entre as áreas de estudo e os estoques de C nos plantios de seringueira relatados na literatura decorre das diferenças entre as idades de plantios, tipos de solos, clima e práticas de manejo adotadas. As variações espaciais de atributos físicos, químicos, biológicos e pedogenéticos em sistemas florestais são responsáveis por padrões de acúmulo de C do solo (Epron et al., 2004).

Coutinho et al. (2010), ao avaliarem o efeito dos diferentes usos do solo no estoque de C na Mata Atlântica no estado de São Paulo constataram que uma floresta com 34 anos de regeneração, na camada de 0-40 cm de profundidade, estocou 58,7 Mg ha<sup>-1</sup> de C.

Em um fragmento de Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro com 60 anos de regeneração, Machado (2011) quantificou na camada de 0-20 cm um estoque equivalente a 76 Mg ha<sup>-1</sup> de C. Em outra área de fragmento de Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro, Torres, (2011) quantificou na camada de 0-60 cm um estoque de 64 Mg ha<sup>-1</sup> de C.

Comparando-se o estoque de C no solo em plantios de seringueira no Brasil e em outros países, assim como os estoques de C em florestas naturais a cultura da seringueira se mostrou como promissora para o incremento de C no solo contribuindo para a mitigação da degradação do solo.

### 5.5.7 Fracionamento Granulométrico da MOS e Matéria Orgânica Leve em Água

As frações granulométricas da matéria orgânica e matéria orgânica leve em água apresentaram diferença estatística entre as áreas avaliadas (Tabela 21).

O maior estoque de serapilheira sobre o solo da mata (6,3 Mg ha<sup>-1</sup>) (Tabela 15) ocasionou diferenças entre os teores de MOL, COP e COAM da mata e as demais áreas. O tipo de manejo aplicado em cada área de plantio dos clones de seringueira também influencia os teores de MOL, COP e COAM entre as áreas.

**Tabela 21.** Teores de C nas frações granulométricas da matéria orgânica (g kg<sup>-1</sup>) e teor de matéria orgânica leve em água do solo (g kg<sup>-1</sup>) em diferentes áreas.

Áreas	COT	COP	COAM	MOL
	(g kg <sup>-1</sup> )			
<b>Prof. (0-5 cm)</b>				
FX 3864	29,6b	2,0c	27,6a	12,1c
IAN 873	24,8c	1,7d	24,1b	7,6d
PASTAGEM	19,0d	4,7b	14,3c	18,8b
MATA	38,1a	13,1a	25,0b	22,0a
CV%	5,7	21	17	15
<b>Prof. (5-10 cm)</b>				
FX 3864	23,8b	1,3c	22,5b	7,3c
IAN 873	23,3b	1,7c	21,6b	4,7d
PASTAGEM	18,7c	3,1b	15,5c	10,2b
MATA	35,2a	4,3a	30,9a	13,5a
CV%	7,3	20,7	7,7	23

Valores seguidos da mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, COT-Carbono orgânico total; (COP)-Carbono orgânico particulado; (COAM)-Carbono orgânico associado aos minerais; (MOL)-Matéria orgânica leve em água.

Os maiores teores de MOL foram encontrados sob a área de mata, seguida pela área de pastagem e posteriormente pelos clones de seringueira. Essas diferenças nos teores de MOL são decorrentes das diferenças existentes entre o estoque de serapilheira ocorrido entre as áreas (Tabela 15), possibilitando uma maior entrada de material vegetal que no processo de decomposição vai originando a MOL.

As áreas de mata e pastagem apresentaram valores de MOL 81 e 55,3% superiores ao clone FX 3864. Já em relação ao clone IAN 873 os valores de MOL da mata e pastagem foram 188% e 147% superiores. Porém a relação (C/N) da serapilheira da pastagem faz com o processo de decomposição da MOL seja da pastagem seja mais lento do que os clones de seringueira. A variação de manejo entre os clones de seringueira fez com que ocorresse diferença nos teores de MOL, o clone FX 3864 apresentou teores de MOL 59,2% a mais do que o clone IAN 873.

Resultados semelhantes, são relatados por Loss et al. (2010) e Guareschi et al. (2013) que avaliarem sistema de produção com deposição de resíduos vegetais sobre o solo, em Seropédica - RJ, e concluíram que a MOL é afetada pela forma de manejo da área e onde se mantém a cobertura de resíduos vegetais sobre a superfície do solo ocorrem aumentos nos teores de MOL. Estudos como os de Loss et al. (2010) e Pereira et al. (2010) mostram que a MOL é mais rápida em detectar as mudanças nos conteúdos de C no solo associadas ao

manejo. De acordo com Jansen et al. (1992), as alterações nos teores de MOL são, de maneira geral, maiores que as observadas para os teores de C do solo.

Avaliando os teores de MOL em plantio de seringueira com 20 anos e em área de mata secundária, Portugal et al. (2008) também relataram menores teores de MOL na área de seringueira ( $2,55 \text{ g kg}^{-1}$ ) em relação a área de mata ( $6,90 \text{ g kg}^{-1}$ ), corroborando com os resultados do presente estudo. Em plantio de espécie arbórea em Minas Gerais, Pulrolnik et al. (2009) observaram maiores valores de MOL, sendo 58 % superior ao solo do Cerrado na camada de (0–10 cm) e 41 % superior em comparação com a pastagem na camada de (0–100 cm), Os autores relatam que o maior aporte de resíduos do plantio de espécie florestal foi o responsável por essa diferença.

Os teores de MOL foram avaliados por Loss et al. (2010b) em diferentes sistemas agrícolas, e os maiores teores foram encontrados no sistema de plantio direto que mantém os resíduos vegetais sobre a superfície do solo, aumentando os teores da fração leve da MOS. Os valores de MOL foram 33% superiores aos teores de um sistema agroflorestal e 300% superior aos teores de um sistema de produção convencional, onde ocorre o revolvimento do solo desfavorecendo a manutenção da MOL.

Avaliando o efeito do manejo sobre os teores de MOL em diferentes áreas, Fontana et al. (2011) quantificaram em áreas de capoeira, cultivo de banana e cultivo de mandioca teores de MOL iguais a 6,8; 6,8 e  $3,4 \text{ g kg}^{-1}$  em cada área. A semelhança entre os teores de MOL da capoeira com o cultivo de banana foi devido à incorporação dos restos culturais e do material roçado da própria área e espécies herbáceas nativas. Os menores teores de MOL no cultivo de mandioca foram relacionados à quantidade inferior de material orgânico aportado pela cultura, uma vez que esta passa por capinas periódicas na área para eliminação das invasoras.

O efeito de práticas conservacionistas do solo sobre as frações da matéria orgânica do solo foi o objetivo de estudo de Guareschi et al. (2012) onde os autores avaliaram os teores de MOL em área de Cerradão, sistema de plantio direto com 20 anos e área de pastagem. Ocorreram diferenças nos teores de MOL onde o Cerradão apresentou um teor de 4,2, o plantio direto 4,0 e a pastagem  $1,2 \text{ g kg}^{-1}$ , os autores relataram que em função do tempo de adoção do sistema e a adição de resíduos vegetais sobre o solo, ocorreu aumento no aporte desta fração na camada superficial do solo para as áreas avaliadas, após 20 anos, os teores de MOL do sistema de plantio direto foi igual a área de Cerrado.

Diante dos resultados do presente trabalho e disponíveis na literatura fica evidente que sistemas de uso e manejo do solo são importantes para a manutenção e aumento dos teores de MOL no solo. A manutenção da MOL, é importante para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, uma vez que ela representa, em curto e médio prazos, potencial para ciclagem de nutrientes e incremento de C no solo (Compton & Boone, 2002).

Na área de mata o COP e o COAM na camada de (0-5 cm) representaram 34,4 e 65,6% do COT, na camada de (5-10 cm) a porcentagem do COP e COAM no COT foi de 12,2 e 87,6%. Na pastagem o COP e o COAM corresponderam a 24,7 e 75,3% do COT na camada de (0-5 cm) e na camada de (5-10 cm) 16,5 e 83,5% do COT.

O mesmo comportamento foi relatado por Machado (2011) que avaliou os teores de COP e COAM em áreas de Mata Atlântica com diferentes estádios sucessionais (inicial, médio e avançado) e os maiores teores de COP foram encontrados quando se avançou o processo de regeneração devido ao maior aporte de serapilheira nas áreas mais velhas. O COAM nessas áreas também representou 80% do C orgânico total.

Na área do clone IAN 873 o COP e o COAM corresponderam a 6,8% e 93,2% do COT na camada de 0-5 cm, já na camada de 5-10 cm ambos representaram 7,2% e 92,8% do COT. No plantio do clone FX 3864 na camada de 0-5 cm o COP e o COAM equivaleram a 6,7% e 93,3% do COT, na camada de 5-10 cm os teores de COP e COAM corresponderam a 5,5% e 95,5% do COT.

Os maiores teores de COAM em relação ao COP nas áreas estão associados a processo de formação das frações granulométricas. Existe uma correlação negativa no processo de formação das frações, esses processos são opostos, para que ocorram maiores teores de COAM no solo é necessário que ocorra maior decomposição dos teores de COP, para posterior associação com os minerais do solo nas frações argila e silte (Figueiredo et al., 2010).

O efeito do uso no solo sobre as frações granulométricas da matéria orgânica foi avaliado por Bernini (2009), o autor avaliou uma área de mata e uma área de pastagem com 12 anos de idade. Na camada de 0-5 cm os teores de COP e COAM da mata foram 27,1 e 1,1 g kg<sup>-1</sup> e da pastagem 4,0 e 6,8 g kg<sup>-1</sup>. Os maiores teores de COP na área de mata foi devido ao maior aporte de serapilheira. Os maiores valores de COAM da área de pastagem ocorreu devido a retirada da cobertura florestal que levou a redução da adição de COP via aporte de serapilheira, restando o COAM que possui maior resistência no solo, devido a sua maior interação com as partículas de argila.

As frações da matéria orgânica em áreas de plantio convencional, plantio direto e sistema agroflorestal foram quantificadas por Loss et al. (2009). Na camada de 0-5 cm os teores de COP foram superiores no plantio direto e sistema agroflorestal e maior teor de COAM foi encontrado no plantio convencional. O plantio convencional, devido à aração e gradagem, mostrou redução no teor do COP e aumento nos teores de COAM; já o sistema de plantio direto e SAF contribuíram para o aumento dos teores de COP devido a maior adição de resíduos vegetais que favorecem a formação do COP.

### **5.5.8 Fracionamento Químico da Matéria Orgânica**

Os teores de C das substâncias húmicas da matéria orgânica do solo sob diferentes usos apresentaram diferença estatística e estão apresentadas na (Tabela 22).

A área de mata por apresentar um maior estoque de serapilheira e MOL apresentou os maiores teores de C das substâncias húmicas e também como ocorreu com os teores de C, frações granulométricas e MOL o manejo diferente das áreas de seringueira ocasionaram diferenças nos teores de C das substâncias húmicas entre os clones nas duas camadas avaliadas.

Em todas as áreas avaliadas a fração húmica predominou em relação às frações ácido fúlvico e húmico. Esses resultados são corroborados pelos estudos de Portugal et al. (2008); Fontana et al, (2010); Pegoraro et al. (2011) e Pessoa et al. (2012) que também relataram o domínio do carbono da fração húmica em relação às outras frações em solos sob plantios de espécies florestais.

Os teores elevados de carbono da húmica são relacionados ao tamanho das moléculas e ao seu maior grau de estabilidade (Fontana et al., 2006), De acordo como este autor as frações ácido fúlvico e ácido húmico, por apresentarem menor estabilidade, podem ser translocadas para camadas mais profundas, serem polimerizadas ou mineralizadas, e diminuir, assim, seu teor residual no solo.

A área de mata em comparação as demais do estudo apresentou teores de C das substâncias húmicas significativamente superior, esse fenômeno é explicado pelo maior estoque de serapilheira sobre o solo da mata favorecendo o processo de humificação da matéria orgânica contribuindo para o aumento dos teores de C das substâncias húmicas.

**Tabela 22.** Teores de C das frações húmicas da matéria orgânica do solo sob diferentes usos do solo.

Área	Carbono das frações húmicas					
	COT	C-SH	C-HUM	C-FAH	C-FAF	C-FAH/ C-FAF
	(g kg <sup>-1</sup> )					
<b>Prof. (0-5 cm)</b>						
FX 3864	29,6b	22,0b	14,8b	3,8b	3,4b	1,2b
IAN 873	24,8c	18,5c	12,0c	3,0c	3,5b	0,90c
PASTAGEM	19,0d	15,7d	11,9c	2,0c	1,8c	1,1b
MATA	38,1a	31,1a	19,3a	6,9a	4,9a	1,4a
CV%	5,7	13,6	19,0	27,4	18,4	9,8
<b>Prof. (5-10 cm)</b>						
FX 3864	23,8b	17,8b	11,1a	3,7a	3,0b	1,2a
IAN 873	23,3b	16,2b	10,1b	3,3b	2,8c	1,2a
PASTAGEM	18,7c	12,3b	8,9b	1,7b	1,7d	1,0b
MATA	35,2a	20a	12,6a	3,7a	3,7a	1,0b
CV%	7,3	15,5	19,3	22,7	8,6	13,0

Valores seguidos de mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, C-SH: carbono das substâncias húmicas; C-HUM: carbono da fração húmica; C-FAF: carbono da fração ácido fúlvico; C-FAH: carbono da fração ácido húmico, C-FAF/C-FAH- relação entre os teores de C do ácido húmico e ácido fúlvico.

A pastagem, mesmo apresentando um maior estoque de serapilheira (3,2 Mg ha<sup>-1</sup>) (Tabela 15) e maiores teores de MOL (18,8 g kg<sup>-1</sup>) (Tabela 21), do que os clones de seringueira, apresentou menores teores de C da C-HUM e C-FAH quando comparados ao clone FX 3864 e a pastagem apresentou menores teores de C-FAF inferiores tanto para o clone FX 3864 e para o clone IAN 873 em ambas as camadas avaliadas. Esse fato pode ser explicado pela maior relação C/N da serapilheira da pastagem (Tabela 15), o que confere um material mais recalcitrante dificultando a ação de agentes decompositores e tornando o processo de humificação mais lento e por isso os menores teores de C das substâncias húmicas.

De acordo com Kuzyakov & Domanski (2000), resíduos de plantas que apresentam maiores concentrações de lignina e compostos aromáticos (maior relação C/N) terão uma decomposição mais lenta.

Entre os clones de seringueira, as diferenças entre o número de roçadas e o modo que são realizadas ocasionaram diferenças nos teores de C das substâncias húmicas (C-HUM e C-FAH). O clone FX 3864 por receber de 2 a 3 roçadas em toda a sua área apresentou maiores teores de C das substâncias húmicas do que o clone IAN 873 que recebe apenas 1 roçada na linha de plantio (Tabela 22). O efeito do manejo nas áreas de seringueira fez com que na camada de (0-5 cm) os teores de C-HUM e FAH do clone FX 3864 fosse 23,3 e 26,6% superiores ao clone IAN 873, Já para a camada de 5-10 cm os valores corresponderam a 9,9% para C-HUM e 12% para FAH.

Na Tabela 22, é possível verificar maiores valores da relação C-FAH / C-FAF na área de mata, seguida pelo clone FX 3864 e pastagem, em comparação ao clone IAN 873 na camada de 0-5 cm. Esses resultados demonstram que nas áreas de mata e clone FX 3864 está ocorrendo no solo um maior equilíbrio na formação entre o C-FAH e o C-FAF, enquanto que

no clone IAN 873 está ocorrendo um predomínio na formação de C-FAH em relação ao C-FAH.

Na camada de 5-10 cm os dois clones de seringueira apresentaram valores da C-FAH /C-FAF superiores à área de mata e pastagem revelando que a seringueira está mais equilibrada na formação de C-FAH e C-FAF na camada mais subsuperficial formando um húmus de melhor qualidade proporcionando melhorias no solo.

A relação C-FAH/C-FAF é um indicador da qualidade do húmus que expressa o grau de evolução do processo de humificação da matéria orgânica. E ainda, segundo alguns autores (Ebeling et al., 2004; Giácomo et al., 2008) valores desta relação próximo ou igual à 1 caracteriza material de melhor qualidade, que permite o estabelecimento de bons atributos físicos e químicos do solo.

Resultados semelhantes ao presente estudos foram encontrados por Portugal et al. (2008) que avaliaram os teores de C das substâncias húmicas em área de mata, seringueira e pastagem na camada de 0-10 cm, os maiores teores de C-HUM, C-AH e C-AF ( $\text{g kg}^{-1}$ ) foram encontrados na área de mata (13,4; 3,8 e  $3,5 \text{ g kg}^{-1}$ ), seguidos pelo plantio de seringueira (10,8; 2,9 e  $3,4 \text{ g kg}^{-1}$ ) e os menores teores foram encontrados na área de pastagem (7,6; 1,5 e  $1,7 \text{ g kg}^{-1}$ ). Neste caso esses resultados reafirmam o potencial da cultura da seringueira no processo de humificação da matéria orgânica em relação às pastagens.

Na região da Baixada Litorânea do estado do Rio de Janeiro, Miranda et al. (2007) avaliaram os teores de C das substâncias húmicas em área de mata e plantio de eucalipto com 16 anos de idade na camada de (0-10 cm). Os teores de C-HUM, C-AH e C-AF ( $\text{g kg}^{-1}$ ) da mata corresponderam a (7,4; 1,1 e 1,9) e na área de eucalipto os teores quantificados foram (7,5; 1,3 e 1,9). Os resultados demonstram uma similaridade entre os teores de C das substâncias húmicas entre as áreas indicando que plantios florestais que aportam grandes quantidades de resíduos sobre o solo podem ao longo do tempo armazenar teores de C das substâncias húmicas iguais a formações florestais nativas.

O C das substâncias húmicas foi avaliado por Pulrolink et al. (2009), em áreas com diferentes usos no Cerrado mineiro. Foram avaliadas três áreas, plantio de eucalipto com 20 anos de idade, pastagem e uma área de mata. O plantio de eucalipto apresentou os menores teores de C na fração húmica, porém nas frações (C-FAH e C-FAF) do solo, os teores de C foram 16,6 e 17,5 % maiores para o eucalipto em comparação com os solos da pastagem, e 17,5 e 36,9 % com os solos do Cerrado, respectivamente na camada de 0-10 cm. O maior estoque de C nas frações FAH e FAF do solo sob eucalipto ocorreu devido à maior produção de resíduos vegetais da cultura.

### **5.5.9 Avaliação das Propriedades Microbiológicas do Solo**

A atividade enzimática, as propriedades microbiológicas, químicas e físicas do solo apresentaram diferença estatística entre as áreas sob diferentes usos (Tabela 23 e Tabela 24).

Em relação às propriedades químicas e físicas (Tabela 24), o atributo COT da área de pastagem foi semelhante à área de mata, já os atributos valor S, valor T e V% e o pH do solo da área de pastagem foram superiores às demais áreas, essas diferenças podem ser explicadas pela posição que essa ocupa na paisagem, topo de morro, (platô) o que favoreceu para a manutenção de nutrientes e matéria orgânica não ocorrendo perdas por erosão ou arraste e também pela adição de nutrientes via excretas de bovinos nessa área.

A fosfatase ácida PAc apresentou maiores atividades na área de mata, seguida pelas áreas e seringueira e menor atividade na pastagem. A maior atividade da PAc na área de mata pode ser explicada pelo maior estoque de serapilheira nessa área ( $6,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e com isso ocorre uma maior deposição e maior ciclagem de nutrientes nesse ambiente favorecendo o aumento de P orgânico favorecendo a maior atividade da fosfatase.



Além disso, os valores dessa enzima foram altos nas áreas onde não ocorre histórico de fertilização mineral, a área de pastagem apresentou os maiores valores de P na solução do solo, maior pH, maior soma de bases (S) e saturação de bases (V%) em relação as áreas de mata e seringueira (Tabela 24) e o que também pode ter influenciado a menor atividade da PAc na área de pastagem foi o seu menor teor de argila (Tabela 24).

**Tabela 23.** Atividade enzimática e Propriedades microbiológicas do solo na camada de (0-10 cm) de profundidade sob diferentes usos do solo.

Atividade enzimática	FX 3864	IAN 873	MATA	PASTAGEM	CV%
PAc ( $\mu\text{mols } p\text{NP g}^{-1} \text{ ss h}^{-1}$ )	3,3b	3,1b	3,6a	2,6c	9,6
$\beta$ -Glucosidase ( $\mu\text{mols } p\text{NP g}^{-1} \text{ ss h}^{-1}$ )	0,55b	0,46b	0,73a	0,67a	13,0
Aril ( $\mu\text{mols } p\text{NP g}^{-1} \text{ ss h}^{-1}$ )	2,51a	2,67a	1,90a	2,0a	18,0
FDA ( $\mu\text{mols de fluoreos g}^{-1} \text{ ss h}^{-1}$ )	113,8a	105,5b	84,3c	83,7c	17,0
Lacase ( $\text{nmol DIC g}^{-1} \text{ ss h}^{-1}$ )	1,48b	1,43b	1,81a	1,25c	15,0
<b>Propriedades microbiológicas</b>					
NBM ( $\text{mg N-mic kg}^{-1} \text{ ss}$ )	32,7b	24,5c	67,5a	69,5a	22,3
CBM ( $\text{mg C-mic kg}^{-1} \text{ ss}$ )	195,4c	177,0c	227,5b	308,0a	19,5
RBS ( $\mu\text{g CO}_2\text{-C kg}^{-1} \text{ ss h}^{-1}$ )	600b	600b	602b	1280 a	11,0
$q\text{CO}_2$ ( $\text{mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ CBM h}^{-1}$ )	3,75b	3,45b	2,90c	4,22a	12,7

Valores seguidos da mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, PAc: fosfatase ácida; Glucosidase:  $\beta$ -glucosidase; Aril: Arilsulfatase; FDA: hidrólise FDA; NBM: Nitrogênio da biomassa microbiana; CBM: carbono da biomassa microbiana; RBS: respiração basal;  $q\text{CO}_2$ : quociente metabólico.

Avaliando o efeito do uso e manejo do solo Lisboa et al. (2012), encontraram atividade de fosfatase semelhantes entre área de campo natural e plantio conservacionista e superiores a área de plantio convencional. O aumento de matéria orgânica no solo foi associado ao aumento da atividade da fosfatase.

**Tabela 24.** Propriedades químicas e físicas do solo na camada de (0-10 cm) de profundidade sob diferentes usos do solo.

Propriedades químicas	FX 3864	IAN 873	MATA	PASTAGEM	CV%
COT ( $\text{g kg}^{-1}$ )	21,0b	18,0c	22,0a	23,0a	8,0
pH ( $\text{H}_2\text{O}$ )	4,3c	4,8b	4,0d	5,5a	2,8
P ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	0,36c	0,24c	0,70b	0,9a	28,0
$\text{Mg}^{2+}$ ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	1,1b	0,9b	0,8c	1,8a	15,7
$\text{Ca}^{2+}$ ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	1,2b	1,0b	0,5c	3,2a	19,8
$\text{K}^+$ ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	0,16b	0,11b	0,13b	1,7a	28,0
$\text{Al}^{3+}$ ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	1,1b	1,0b	2,0a	0,7c	23,0
H+Al ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	2,8c	4,4b	12,5a	2,2c	6,8
S ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	2,6b	2,2b	1,5c	6,7a	15,0
T ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	5,4b	6,6b	14,0a	8,9c	6,0
V (%)	48,1b	33,3c	10,7d	74,7a	15,0
<b>Propriedades físicas</b>					
Argila ( $\text{g kg}^{-1}$ )	338b	308c	366a	290d	22,0
Silte ( $\text{g kg}^{-1}$ )	163a	154b	133d	148c	23,0
Areia ( $\text{g kg}^{-1}$ )	500c	539b	501c	564a	21,6

Valores seguidos da mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As áreas de mata e pastagem apresentaram maior atividade de  $\beta$ -glucosidase em comparação às áreas de seringueira. A maior atividade de  $\beta$ -glucosidase pode ser explicada pelo maior estoque de serapilheira nessas áreas (6,3 e 3,4 Mg ha<sup>-1</sup>) favorecendo maiores teores de C orgânico (Tabela 24) no solo, uma vez que a atividade dessa enzima está ligada a ciclagem de C no solo (Balota et al., 2013). Entre as áreas de seringueira não ocorreu diferença na atividade da  $\beta$ -glucosidase, porém o efeito das roçadas na área do clone FX 3864 fez com que a atividade da  $\beta$ -glucosidase fosse 19,5% superior ao clone IAN 873.

Maiores atividades da  $\beta$ -glucosidase em áreas de mata em comparação a áreas de pastagens foram relatadas por (Jakeilatis et al., 2008 e Silva et al., 2012), em sistema de plantio direto foi relatada maior atividade de  $\beta$ -glucosidase em comparação a área de plantio convencional (Lisboa et al., 2012), Silva et al. (2009) encontraram maior atividade da enzima em plantios de eucalipto do que em áreas nativas de Cerrado. Todos os autores concluíram que o aumento da deposição de resíduos sobre o solo resultou no incremento de C no solo favorecendo a atividade da  $\beta$ -glucosidase.

A atividade da arilsulfatase não apresentou diferença entre as áreas avaliadas, entretanto, as áreas de seringueira apresentaram tendências de maior atividade quando comparadas a área de mata, esse fenômeno pode estar associado à característica química da serapilheira da seringueira que pode estar favorecendo a adição de S no solo uma vez que a atividade da arilsulfatase está ligada a microrganismos que mineralizam o S orgânico (Balota et al., 2013). A atividade da arilsulfatase pode ser devido à presença de uma maior comunidade fungica no solo específica dos plantios de seringueira. De acordo com Bandick & Dick (1999), a atividade da arilsulfatase é usada como indicadora indireta da presença de fungos no solo, uma vez que, entre os componentes da biomassa microbiana, somente os fungos possuem ésteres de sulfatos, os quais são substratos para a atividade dessa enzima.

A atividade da arilsulfatase foi avaliada por Silva et al. (2009) em área de mata e área de plantio de monocultura de eucalipto, as maiores atividades da enzima foram encontradas na área de mata, o mesmo padrão de atividade foi relatado por Lisboa et al. (2012), que quantificaram maior atividade da arilsulfatase em áreas de vegetação nativa em comparação a área de plantio convencional. Silva et al. (2012) encontrou maior atividade em área de pastagem em comparação à área de agricultura anual. O não revolvimento do solo contribui para uma maior atividade e desenvolvimento das hifas dos fungos contribuindo para o aumento da atividade da enzima.

Nas áreas de seringueira, atividade da FDA foi superior à área de mata e pastagem, essa maior atividade pode ser decorrente dos menores teores de C orgânico dessas áreas (Tabela 24). Entre as áreas de seringueira, devido à influência do manejo, o clone FX 3864 apresentou maior atividade da FDA.

A FDA não expressa somente à atividade de uma única enzima específica, mas de um grupo de enzimas, que são capazes de realizá-la como as lipases, esterases e proteases. A atividade pode ser expresso por algas, protozoários e tecidos animais, mas não por esporos e células microbianas na fase estacionária de crescimento (Balota et al., 2013). Assim, novamente a composição química da serapilheira da seringueira pode estar favorecendo a maior atividade da FDA no solo.

A atividade da lacase, também chamada de fenol oxidase, apresentou-se maior atividade na área de mata, devido à deposição de materiais mais ricos em lignina e polifenóis como troncos, galhos e cascas. É importante chamar a atenção para o fato da área de mata apresentar as maiores atividades das enzimas Lacase e  $\beta$ -Glucosidase. Essas duas enzimas agem em conjunto no processo de ciclagem do C, sendo que primeiro ocorre à atuação da Lacase realizando a decomposição de compostos mais recalcitrantes da matéria orgânica e posteriormente a  $\beta$ -Glucosidase atua em substratos menos recalcitrantes que a Lacase. A principal origem da Lacase no solo é de fungos (Baldrian et al. 2008) e ela catalisa a oxidação

dos grupamentos fenólicos nos substratos orgânicos, como a lignina atuando na biodegradação e na transformação da fração menos lábil da matéria orgânica do solo (Kellner et al., 2008).

Em relação aos atributos microbiológicos do solo, a pastagem apresentou maiores teores de C da biomassa microbiana em comparação as demais. Esse fato é explicado pela distribuição do sistema radicular da pastagem, sobretudo de raízes finas no perfil do solo aumentando a liberação de compostos solúveis pela exsudação ou decomposição radicular. Esse material é utilizado como fonte de energia pelos microrganismos (Kuzyakov & Domanski, 2000), além da adição de esterco e urina dos bovinos que favorece a atividade microbiana. Ainda, o menor pH do solo e a maior saturação por bases do solo (V%) (Tabela 24) podem estar contribuindo para a comunidade microbiana se desenvolva melhor nesta área.

O pastejo afeta a partição da biomassa nas raízes, ocorre redução da área foliar da planta pela remoção dos meristemas apicais, reduz a reserva de nutrientes da planta e promove mudança na alocação de energia e nutrientes da raiz para a parte aérea, para compensar perdas de tecido fotossintético causando a morte das raízes da planta (Corsi et al., 2001). A renovação do sistema radicular favorece a atividade de microrganismos no solo.

Os valores de C da biomassa microbiana desse estudo contribuem com os dados de Zang et al. (2007), Pegoraro et al. (2011), Silva et al. (2012) e Carneiro et al. (2013) que avaliaram efeito do uso do solo na comunidade microbiana do solo, quantificaram maiores teores de C da biomassa microbiana em área de pastagem em relação a áreas de cultivo de seringueira, mata, plantio de eucalipto e área de integração lavoura pecuária. Porém, estudos de C da biomassa microbiana em áreas de mata foram superiores a áreas de pastagem (Jakeilatis et al., 2008; Lourente et al., 2011), plantios de eucalipto (Silva et al., 2009). Alves et al. (2011) estudando efeito do plantio direto sobre a qualidade do solo, quantificaram maiores teores de C da biomassa microbiana no plantio direto em relação a mata.

A área do clone FX 3864 apresentou teores de C da biomassa microbiana 10,4% superior ao IAN 873, diferença que pode ser devida ao manejo das áreas. Na literatura é citada a influência do sistema radicular das gramíneas na melhoria de atributos relacionados à qualidade do solo, dentre eles a incorporação de C (Pereira, 2010; Loss et al., 2011).

Os teores de N da biomassa microbiana não apresentaram diferença estatística entre as áreas de mata e pastagem sendo superiores aos teores de N da biomassa microbiana das áreas de seringueira. Os maiores teores de N da biomassa microbiana da área de pastagem está relacionada ao maior teor de C da biomassa microbiana (Tabela 23). Entre nas áreas de seringueira ocorreu diferença entre os teores de N da biomassa microbiana, novamente em função da diferença de manejo das áreas, o clone FX 3864 foi favorecido pelo maior número de roçadas e deposição de resíduos vegetais sobre o solo.

A área de pastagem apresentou os maiores valores de respiração basal do solo (RBS) em comparação as demais áreas, isso pode ser explicado pelo maior teor de C da biomassa microbiana, o que confere uma maior respiração devido a maior quantidade de microrganismos presentes no solo.

O menor quociente metabólico ( $qCO_2$ ) foi encontrado na área de mata, os clones de seringueira apresentaram maior ( $qCO_2$ ) do que a mata porém, os clones de seringueira apresentaram menor ( $qCO_2$ ) em relação a pastagem indicando que a área de seringueira ocorre menores perdas de C, sendo o sistema mais eficiente na utilização do carbono, e que a longo prazo resultará em maiores incrementos no solo em comparação a pastagem.

De acordo com Kuwano et al. (2014), elevados valores de ( $qCO_2$ ) indicam que a população microbiana está consumindo quantidades maiores de C para sua manutenção devido a condições estressantes, tornando-a menos eficientes na utilização da energia o que leva a perda de carbono orgânico do solo e degradação do solo.

## 5.6 CONCLUSÕES

A seringueira apresentou menor estoque de serapilheira do que a pastagem, porém os teores de nutrientes do estoque de serapilheira (N, P, K e Ca) foram superiores a área de pastagem indicando que o reflorestamento de pastagens com a cultura pode favorecer a ciclagem de nutrientes em áreas de pastagem que estão em processo de degradação.

Os atributos pH, Ca, Mg, K, S e V% foram superiores na área de pastagem, essa diferença ocorreu devido ao fato da pastagem ter recebido fertilização no momento da implantação e também pela menor extração de nutrientes do solo da pastagem em quanto que as espécies florestais, tanto mata quanto seringueira, apresentaram uma maior demanda por nutrientes, extraindo maiores quantidades do solo para alocação na biomassa e no látex.

O manejo diferenciado da área do clone de seringueira FX 3864 promoveu melhorias na fertilidade do solo, nos teores de carbono das frações granulométricas e substâncias húmicas nas camadas de (0-5) e (5-10 cm) de profundidade.

A adoção de sistemas de uso de solo de longo prazo que não promovem revolvimento do solo, como a cultura da seringueira pode contribuir para a manutenção e aporte de resíduos vegetais, sendo indicada para o incremento de C no solo.

Os dois clones de seringueira avaliados apresentaram teores de COAM e teores de C das substâncias húmicas superiores a área de pastagem reforçando o potencial de reflorestamento de pastagens com a cultura.

A cultura da seringueira apresentou maiores estoques de C profundidade de (0-40 cm) no solo em comparação as áreas de pastagem e mata. Nas camadas de (10-20) e (20-40 cm) a seringueira estocou mais C do que as demais áreas, evidenciando característica de aumento de estoque de C em profundidade pela cultura.

Os diferentes usos do solo causaram diferenças entre a atividade enzimática e os atributos microbiológicos do solo. A área de pastagem apresentou maior respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico ( $qCO_2$ ) indicando que a microbiota apresenta-se mais ativa o que denota baixa eficiência da pastagem em preservar o C do solo.

A maior atividade da fosfatase ácida foi determinada nas áreas onde não ocorreu adubação fosfatada. A atividade da Arilsulfatase não foi eficiente para diferenciar os usos da terra, porém nas áreas de seringueira ela apresentou maior atividade e deve ser incentivada para análises de qualidade do solo em plantios de seringueira. Já a atividade da FDA foi superior nas áreas de seringueira e foi eficiente para a diferenciação das áreas em relação ao seu uso.

## 6 CONCLUSÕES GERAIS

Diante do exposto nos capítulos anteriores, as aplicações de corretivos e adubos não foram suficientes para suprir a demanda de nutrientes requerida pelos clones o que levou a deficiência nutricional. Os clones apresentaram teores de nutrientes (N, P e K) abaixo do nível crítico e teores de Ca, Mg e micronutrientes acima do nível crítico. Os clones MDX 624 e CDC 312 apresentaram melhor nutrição.

O clone MDX 624 apresentou o melhor crescimento em DAP, ao passo que os clones FDR 3768, CDC 312 e o próprio MDX 624 em altura total. O clone MDX 624 apresentou maiores conteúdos de N e Mg no estoque de serapilheira em relação aos demais clones o que o faz um clone diferenciado para a adição de nutrientes ao solo.

A cultura da seringueira se mostrou promissora para a estocagem de carbono na biomassa e no solo, apresentando em média um estoque de 50,8 Mg ha<sup>-1</sup> de C na biomassa total e 84,6 Mg ha<sup>-1</sup> de C no solo até a profundidade de 0-40 cm. O estoque total de C (biomassa + solo) foi de 135,5 Mg C ha<sup>-1</sup>.

A diferença na quantidade (estoque de serapilheira) e qualidade (relação C/N) do material vegetal estocado pelos diferentes clones, proporcionou alterações no conteúdo de matéria orgânica leve em água e no teor de carbono das substâncias húmicas.

O clone FDR 5788 também apresenta um bom potencial de crescimento nas condições climáticas da região do estudo, as frações húmicas da matéria orgânica associada ao clone FDR 5788 apresentam uma maior relação entre C-FAH / C-FAF, contribuindo para a conservação do carbono no solo.

Os atributos pH, Ca, Mg, K, S e V% foram superiores na área de pastagem, essa diferença ocorreu devido ao fato da pastagem ter recebido fertilização no momento da implantação.

A cultura da seringueira apresentou maiores estoques de C profundidade de (0-40 cm) no solo em comparação as áreas de pastagem e mata. Nas camadas de (10-20) e (20-40 cm) a seringueira estocou mais C do que as demais áreas, evidenciando característica de aumento de estoque de C em profundidade pela cultura.

Os diferentes usos do solo causaram diferenças entre a atividade enzimática e os atributos microbiológicos do solo. A área de pastagem apresentou maior respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) indicando que a microbiota apresenta-se mais ativa o que denota baixa eficiência da pastagem em preservar o C do solo.

A maior atividade da fosfatase ácida foi determinada nas áreas onde não ocorreu adubação fosfatada. A atividade da Arilsulfatase não foi eficiente para diferenciar os usos da terra, porém nas áreas de seringueira ela apresentou maior atividade e deve ser incentivada para análises de qualidade do solo em plantios de seringueira. Já a atividade da FDA foi superior nas áreas de seringueira e foi eficiente para a diferenciação das áreas em relação ao seu uso.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados sobre estado nutricional e adubação da seringueira no Brasil ainda são escassos, principalmente nas regiões não produtoras onde está ocorrendo uma expansão da cultura, e com isso abrem-se novas perspectivas de que o país torne-se autossuficiente na produção de borracha natural. Para atingir essa meta há necessidade de gerar novas tecnologias para as novas áreas como recomendações de adubação adequadas para as diversas fases da cultura; além de considerar os diferentes tipos de clone que estão sendo cultivados e a região edafoclimática.

Novos estudos devem ser realizados em relação às fontes de adubação e formas de aplicação para a cultura da seringueira, devem ser testadas novas fontes de adubação alternativas como compostos orgânicos como, por exemplo, o lodo de esgoto, adubos de liberação lenta e consórcio com leguminosas fixadoras de N e associação com microrganismos do solo como no caso da associação com fungos micorrízicos arbusculares. Em relação às tabelas de referência dos teores de nutrientes nas folhas, é preciso realizar novos estudos que envolvam as diversas fases da cultura para que sejam ajustadas novas tabelas específicas para cada fase e assim poder fazer o correto acompanhamento do estado nutricional da cultura.

É preciso buscar formas de manejo dos plantios para que se alcance mais precocemente o início da exploração do látex, buscando clones melhorados que aumentem a produtividade. São necessários estudos que avaliam o desempenho de diferentes clones em relação ao plantio consorciado com outras culturas em sistemas agroflorestais, sistemas de integração lavoura-pecuária e sistemas silvipastoril garantindo um maior ganho para o produtor rural.

O clone FX 3864 que foi testado no capítulo I e utilizado no capítulo II em comparação a área de mata e pastagem, mostra-se promissor em relação aos estoques de C na biomassa e solo. Os resultados dos teores de nutrientes da serapilheira dos dois clones de seringueira obtidos no capítulo II foram superiores à área de pastagem, já em relação ao estoque de C no solo, os dois clones avaliados apresentaram maior estoque de C em comparação a área de pastagem e mata. Assim o plantio desses dois clones de seringueira deve ser incentivado no estado do Rio de Janeiro, pois estariam contribuindo para a melhoria no processo de ciclagem de nutrientes e para o aumento dos teores de C no solo nas áreas de pastagens que não estão em processo de degradação.

A escolha dos clones de seringueira pode influenciar em diversos fatores, tanto os relacionados diretamente aos clones como o crescimento, como os relacionados aos atributos do solo. Os clones MDX 624 e CDC 312 estudados no capítulo I apresentaram um melhor estado nutricional em comparação aos clones FX 3864, FDR 5788 e PMB1, isto pode indicar uma melhor capacidade de extrair nutrientes do solo e melhor adaptação à região de estudo. Os diferentes clones avaliados no capítulo I apresentaram diferenças no crescimento que influenciaram na produção de resíduos vegetais sobre o solo, esses resíduos apresentaram características químicas diferenciadas que proporcionaram alterações na qualidade da matéria orgânica do solo. Todos esses fatores devem ser analisados em conjunto para que os plantios de seringueira possam apresentar uma boa produtividade e ao mesmo tempo contribuir para melhorias da qualidade do solo.

Em relação aos indicadores de qualidade do solo os plantios dos dois clones IAN 873 e FX 3864 apresentaram respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico ( $qCO_2$ )

menores do que a área de pastagem indicando que a cultura da seringueira é uma boa alternativa de reflorestamento em áreas em que apresentam baixa capacidade de preservar o C do solo.

A heveicultura pode ser considerada uma forte candidata à geração dos créditos por emissões reduzidas (CERs). Entretanto, para que o mercado de créditos de carbono se concretize e os mecanismos de mitigação recebam seus devidos valores, é necessário que os mercados se desenvolvam mais, e haja mecanismos de captação de recursos financeiros destinados, especificamente a financiar projetos que visem o pagamento por serviços ambientais para pequenos e médios produtores de seringueira.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTOS FLORESTAIS (ABRAF). Disponível em: <http://www.abraflor.org.br/estatísticas.asp>. Acessado em: 07/02/2012.
- AB'SABER, A. Domínios morfoclimáticos e solos do Brasil. In: ALVAREZ V. V. H.; FONTES L. E. F.; FONTES, M. P. F. eds. Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável, Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Universidade Federal de Viçosa, 1996, p.1-18.
- ALBRECHT, A.; KANDJI, S. T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture Ecosystem Environment*. v.9, p.15-27, 2003.
- ALVES, B. J. R.; OLIVEIRA, O. C.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Abundância natural do  $^{13}\text{C}$ , In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008, 654p.
- ALVES, R. N. B. Níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio para produção de porta-enxertos de seringueira (*Hevea spp.*) no Amapá. Lavras Universidade Federal de Lavras, 1987, 79p. (Dissertação de Mestrado).
- ALVES, R. N. B.; ANDRADE, M. R. de; ROSSETTI, A. G.; PEREIRA, A.V.; BUENO, N. Estudo de dosagens de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio em viveiro de seringueira no Amapá, In: Simpósio do Trópico Úmido, 1, 1984, Belém, PA, Anais... Belém: Embrapa-CPATU, 1986, v.4, p.127-132.
- ALVES, T. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.33, p.341-347. 2011.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. CAB International, 171p. 1988.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. Wallingford: CAB International, 1989.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quociente for  $\text{CO}_2$  ( $q\text{CO}_2$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology Biochemistry*. v.25, p.393-395, 1993.
- ANDERSON, J. D.; INGRAM, L. J.; STAHL, P. D. Influence of reclamation management practices on microbial biomass carbon and soil organic carbon accumulation in semiarid mined lands of Wyoming. *Applied Soil Ecology*. v. 40, p. 387-397, 2008.
- ARATO, H. D.; MARTINS, S, V.; FERRARI, S. H. S. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. *Revista Árvore*. v.27, p.715-721, 2003.
- AWETO, A. O. Physical and nutrient status of soils under rubber (*Hevea brasiliensis*) of different ages in South-Western Nigeria. *Agriculture Systems*. v.23, p.63-72, 1987.
- BALBINOT, R. Carbono, nitrogênio e razões isotópicas  $\delta^{13}\text{C}$  E  $\delta^{15}\text{N}$  no solo e vegetação de estágios sucessionais de floresta ombrófila densa submontana, 2009, 103 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.



- BALDRIAN, P.; TROGL, J.; FROUZ, J.; SNAJDR, J.; VALASKOVÁ, V.; MERHAUTOVÁ, V.; CAJTHAML, T.; HERINKOVÁ, J. Enzyme activity and soil microbial biomass in topsoil layer during spontaneous succession in spoil heaps after brow coal mining, *Soil Biology & Biochemistry*. v.40, p.2107-2115, 2008.
- BALESDENT, J.; MARIOTTI, A.; GUILLET, B. Natural  $^{13}\text{C}$  abundance as a tracer for studies of soil organic matter dynamics. *Soil Biology Biochemistry*. v.19, p.25-30, 1987.
- BALIEIRO, F. C.; OLIVEIRA, W. C.; PEREIRA, M. P.; ANJOS, L. H. C.; PICCOLO, M. C.; JACCOUD, C. F. Fertilidade e carbono do solo e uso da água pelo eucalipto numa toposequencia em Seropédica, RJ. *Revista Árvore*, v.32, n.1, p.153-162, 2008.
- BALOTA, E. L.; CHAVES, J. C. D. Enzymatic activity and mineralization of carbon and nitrogen in soil cultivated with coffee and green manures. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.1573-1583. 2010.
- BALOTA, E. L.; NOGUEIRA, M. A.; MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; FAGOTTI, D. S. L.; MELO, G. M. P.; SOUZA, R. C.; MELO, W. J. Enzimas e seu papel na qualidade do solo, In: *Tópicos em ciência do solo*, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo- Volume 1 (2013), Viçosa, MG, ARAÚJO, A. P. & ALVES, B. J. R. Eds. 2013, p.189-249.
- BANDICK, A. K.; DICK, R. P. Field management effects on soil enzyme activities, *Soil Biology Biochemistry*. v.3, p.1471-1479, 1999.
- BAPTISTA, M. B.; BRAUN, O. P. G.; CAMPOS, D. A.; PRICE, L. I.; RAMALHO, R.; SANTOS, N. G. *Léxico estratigráfico brasileiro*. Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1984. 541 p.
- BARRETO, A. C.; FERNANDES, F. M. Cultivo de *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala* em alamedas visando a melhoria dos solos dos tabuleiros costeiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.36, n.10, p. 1287-1293, 2001.
- BARTLETT, R. J.; ROSS, D. S. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. *Soil Science Society of America Journal*, v.52, p. 1191-1192, 1988.
- BATAGLIA, O. C. & SANTOS, W. R. Efeitos da adubação NPK na fertilidade do solo, nutrição e crescimento da seringueira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, n.4, p.881-890, 1999.
- BATAGLIA, O. C.; CARDOSO, M. CARRETERO, M. V. Situação nutricional de seringais produtivos no estado de São Paulo. *Revista Bragantia*, Campinas, v.47, p.109-123, 1988.
- BATAGLIA, O. C.; CARDOSO, M.; IGUE, T.; RAIJ, B. VAN. Desenvolvimento da seringueira em solos do Estado de São Paulo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 22, n.4, p.419-424, 1987.
- BATAGLIA, O. C. & SANTOS, W. R. Nutrição e adubação de seringais em formação e produção. I Ciclo de Palestras sobre a Heveicultura Paulista, Barretos-SP, 10 a 11 de Novembro, 1998.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.39, n.7, p.677-683, 2004.
- BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2003, 7p. (Embrapa solos, Comunicado Técnico, 16).

- BERNINI, T. A. Frações Granulométricas e Oxidáveis da Matéria Orgânica do Solo em Sucessão Floresta - Pastagem no Acre. *Revista Brasileira de Agroecologia*. v. 4, n.2, 2009.
- BEZERRA, R. P. M.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Formas de carbono em Latossolo sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no cerrado, Goiás. *Semina*, v.34, n.6, p. 2637-2654, 2013.
- BLECOURT, M.; BRUMME, R.; XU, J.; CORRE, M. D.; VELDKAMP, E. Soil Carbon Stocks Decrease following Conversion of Secondary Forests to Rubber (*Hevea brasiliensis*) Plantations. *Plos One*, v.8, n.7, 2013.
- BORÉM, R. A. T.; RAMOS, D. P. Variação estacional e topográfica de nutrientes na serapilheira de um fragmento de mata atlântica. *Revista Cerne*, v.8, n.2, p.42-59, 2002.
- BORRACHA NATURAL BRASILEIRA. Borracha Natural. Disponível em: <<http://www.borrachanatural.agr.br/borrachanatural.php>>. Acessado em: 07/02/2012.
- BORTOLON, E. S. O.; MIELNICZUK, J.; TORNQUIST, C. G.; LOPES, F.; FERNANDES, F. F. Simulação da dinâmica do carbono e nitrogênio em um Argissolo do Rio Grande do Sul usando modelo Century. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v.33, p.1635-1646, 2009.
- BROWN, S. & LUGO, A. E. Aboveground biomass estimates for tropical moist forest of the Brazilian Amazon, *Interciencia*, v.17; p. 8-18, 1992.
- BRUN, E. J.; SCHUMACHER, M. V.; VACCARO, S.; SPATHELF, P. Relação entre a produção de serapilheira e variáveis meteorológicas em três fases sucessionais de uma floresta estacional decidual no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. V. 9, p. 277-285, 2001.
- CALDEIRA, M. V. W.; MARQUES, R.; SOARES, R. V.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes –Floresta Ombrófila Mista Montana – Paraná. *Revista Acadêmica*, v.5, n.2, p.101-116, 2007.
- CAMARGO, A. P.; MARIN, F. R.; CAMARGO, M. B. P. Zoneamento Climático da Heveicultura no Brasil, 19 p. il. (Embrapa Monitoramento por Satélite, Documentos, 24), 2003.
- CAMBARDELLA, C. A.; & ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, v.56, p.777-783, 1992.
- CAMPANHARO, W. A.; CECÍLIO, R. A.; SPERANDIO, H. V.; JESUS JÚNIOR.; W. C.; PEZZOPANE, J. E. M. Potencial impacto das mudanças climáticas sobre o zoneamento agroclimático para a seringueira no Espírito Santo. *Sciencia Forestalis*. Piracicaba, v. 39, 105-116, 2011.
- CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; BRASIL, E. L.; IWATA, B. F. Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v.48, n.3, p.304-312, 2013.
- CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; SILVA, C. A.; CURI, N.; FREITAS, D. A. F. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, p.1028-1035, 2010.
- CARMO, C. A. F. S.; LUMBRERAS, J. F.; NAIME, U. J.; GONÇALVES, A. O.; FIDALGO, E. C. C.; ÁGLIO, M. L. D.; LIMA, J. A. S. Aspectos Culturais e Zoneamento da Seringueira no Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Embrapa Solos, 2004, 48 p, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n° 60, 2004.

- CARMO, C. A. F. S.; MANZATTO, C. V.; ALVARENGA, A. P.; TOSTO, S. G.; LIMA, J. A. S.; KINDEL, A.; MOTTA, F. Biomassa e estoque de carbono em seringais implantados na Zona da Mata de Minas Gerais. In: ALVARENGA, A. P.; CARMO, C. A. F. S. Sequestro de carbono: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural. UFV, Viçosa, 2006, 352p.
- CARMO, C. A. F. S.; MENEGUELLI, N. A.; LIMA, J. A. S.; EIRA, P. A. ; CUNHA, T. J. F. Avaliação do estado nutricional de seringais implantados na região da Zona da Mata de Minas Gerais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.37, n.10. p.1437-1444, 2002.
- CARMO, C. A. F. S.; MENEGUELLI, N. A.; LIMA, J. A. S.; MOTTA, P. E. F.; ALVARENGA, A. P. Estimativa do Estoque de Carbono na Biomassa do Clone de Seringueira RRIM 600 em Solos da Zona da Mata mineira. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2003, 19p. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2003.
- CARMO, D. N.; FIGUEIREDO, M. S. Solos para seringueira: manejo e conservação, Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 11, n. 121, p. 13-17, 1985.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; PAULINO, H. B.; SALES, L. E. O.; VILELA, L. A. F. Atributos indicadores de qualidade em solos de cerrado no entorno do Parque Nacional das Emas, Goiás. Bioscience Journal, v.29, p. 1857-1868, 2013.
- CARVALHO, D. C. Fitossociologia, aporte de serapilheira, estoques de carbono e nitrogênio sob plantio de *Corymbia citriodora* com regeneração natural e Floresta Estacional Semidecidual, Santa Teresa, ES. 152 p.2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- CARVALHO, J. G.; CARVALHO, M. A.; ASSIS, R. P. Calagem e gessagem na cultura da seringueira. In: Seringueira, Nutrição e adubação no Brasil. Eds. Ismael de Jesus Matos Viégas, Janice Guedes de Carvalho, Brasília: Embrapa comunicação para Transferência de Tecnologia , Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000, 284p.
- CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, p.277-289, 2010.
- CASTANHO, C. T. Fatores de terminantes em no processo de decomposição em florestas do Estado de São Paulo, 100p. 2005, Dissertação (Mestrado em Biologia) – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.
- CECÍLIO, R. A.; MEDEIROS; S. S.; SILVA JUNIOR, J. L. .C.; SOUZA; J. A. Zoneamento Agroclimático para a heveicultura na parte leste do Estado da Bahia. Revista Bahia Agrícola, v.7, n.2, 2006.
- CENTURION, J. F.; CARDOSO, J. P.; NATALE, W. Physical and chemical properties of an oxisol in different agroecosystems. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 5, p.416-424, 2001.
- CERRI, C. C. & CERRI, C. E. P. Agricultura e aquecimento global. Boletim Informativo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.23, p.40–44, 2007.
- CERRI, C. E. P.; FEIGL, B.; CERRI, C. C. Dinâmica da matéria orgânica do solo na Amazônia. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. de O, (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais, 2,ed, ver. atual, Porto Alegre: Metrópole, 2008, p.325-358.

- CERRI, C. E. P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W. E.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C. Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options. *Scientia Agricola*, v.64, p.83-99, 2007.
- CHAER, G. M. & TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.1381-1396, 2007.
- CHANG, M. Y. Seqüestro florestal do carbono no Brasil: dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas. Curitiba, 2004. 276 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiental e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- CHENG, C.; WANG, R.; JIANG J. Variation of soil fertility and carbon sequestration by planting *Hevea brasiliensis* in Hainan Island. China, *Journal of Environmental Sciences*, v.19, p. 348–352, 2007.
- CHRISTENSEN, B. T.; Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *European Journal of Soil Science*, v. 52, p.345–353, 2001.
- CIANCIARUSO, M. C.; PIRES, J. S. R.; DELITTI, W. B. C.; SILVA, E. F. L. P. Produção de serapilheira e decomposição do material foliar em um cerradão na Estação Ecológica de Jataí, município de Luiz Antônio, SP, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, v.20, p.49-59, 2006.
- CIF (Centro de Inteligência em Florestas), Disponível em: <<http://www.ciflorestas.com.br/>>. Acessado em 07/02/2012.
- COLLINS, H. P.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T. Characterization of soil organic carbon relative to its stability and turnover, In: *Soil organic matter in temperate agroecosystems - long-term experiments in North America*, Boca Raton, CRC Press, p.51-72, 1997.
- COMPTON, J. E. & BOONE, R. D. Soil nitrogen transformations and the role of light fraction organic matter in forest soils. *Soil Biology, and Biochemistry*, v.34, p.933-943, 2002.
- CONAB (Companhia Nacional do Abastecimento), Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>, Acessado em 08/02/2012.
- CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.) *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais*, 2, ed. Ver. e atual, – Porto Alegre: Metropole, 2008, p.137-158.
- CORSI, M.; MARTHA, J. R. G. B.; PAGOTTO, D. S. Sistema radicular: dinâmica e resposta a regimes de desfolha. In: MATTOS, W. R. S. (Ed.) *A produção animal na visão dos brasileiros*, Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 2001, p.838-852.
- CORTEZ, J. V. Reflexões sobre as projeções de consumo de Borracha Natural no Brasil até o ano 2030. Associação Paulista de Produtores e Beneficiadores de Borracha (Apabor), Disponível em: <http://www.apabor.org.br>. Acessado em 14/03/2012.
- COTTA, M. K.; JACOVINE, L. A. G.; PAIVA, H. N.; SOARES, C. P. B.; VIRGENS FILHO, A. C.; VALVERDE, S. R. Quantificação de biomassa e geração de certificados de emissões reduzidas no consórcio seringueira-cacau. *Revista Árvore*, v.32, n.6, p.969-978, 2008.

COUTINHO, R. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; TORRES, A. Q. A.; JANTALIA, C. P. Estoque de carbono e nitrogênio e emissão de N<sub>2</sub>O em diferentes usos do solo na Mata Atlântica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, n.2, p.195-203, 2010.

COUTINHO, R. P. Estoques de carbono e emissão de N<sub>2</sub>O no sistema solo planta em região da Mata Atlântica, 2009, 68p. Dissertação de Mestrado em Agronomia- Ciência do Solo, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ.

CUNHA NETO, F. V.; LELES, P. S. S.; PEREIRA, M. G.; BELLUMATH, V. G. H.; ALONSO, J. M. Acúmulo e decomposição da serapilheira em quatro formações florestais. *Ciência Florestal*, v. 23, n.3, p.379-387, 2013.

CUNHA, G. M.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; VELLOSO, A. C. X. Biomassa e estoque de carbono e nutrientes em florestas montanas da Mata Atlântica na região norte do estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.1175-1185, 2009.

CUNHA, T. J. F.; BLANCANEUX, P.; CALDERANO FILHO, B.; CARMO, C. A. F. S.; GARCIA, N. C. P.; LIMA, E. M. B. Influência da diferenciação pedológica no desenvolvimento da seringueira no município de Oratórios, MG. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 35, n.1, p.145-155, 2000.

DAVIDSON, E. A.; CARVALHO, C. J. R.; FIGUEIRA, A. M.; ISHIDA, F.Y.; OMETTO, J. P. H. B.; NARDOTO, G. B.; SABÁ, R.T.; HAYASHI, S. N ; LEAL, E. C.; VIEIRA, I. C. G.; MARTINELLI, L. A. Recuperation of nitrogen cycling in Amazonian forests following agricultural abandonment. *Nature*, v.447, p.995-998, 2007.

DHARMAKEERTHI, R. S.; SILVA, S. N.; YAKANDAWALA, A.; JAYASINGHE, W, K. Nutritional status of rubber growing soils in the Moneragala district. *Journal of Rubber Research Institute of Sri Lanka*, v.87, p.23-35, 2005.

DOMINGUES, F. A. Nutrição mineral e crescimento de seringais em início de exploração no Estado de São Paulo, Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1994, 59p. (Dissertação de Mestrado).

DORAN, J. W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, Rio de Janeiro, 1997, Anais, Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997, CD-ROM.

EBELING, A. G.; ESPINDULA, A.; VALLADARES, G. S.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G. Propriedades químicas como indicadores ambientais em organossolos no estado do Rio de Janeiro. *Revista Universidade Rural, Série Ciências da Vida*, v. 24, n.1, p.1-6, 2004.

EGBE, A. E.; TABOT, P. T.; FONGE, B. A.; BECHEM, E. Simulation of the impacts of three management regimes on carbon sinks in rubber and oil palm plantation ecosystems of South- Western Cameroon. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, v.4, n.6, p.154-162, 2012.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Glucosidases and galactosidases in soils. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 20, p.601-606, 1988.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, Embrapa, 2013. 353p.

EPRON, D.; NOUVELLONB, Y.; ROUPSARD, O.; MOUVONDY, W.; MABIALA, A.; SAINT-ANDRÉ, L.; JOFFRE, R.; JOURDAN, C.; BONNEFOND, J. M.; BERBIGIERE, P. & HAMEL, O. Spatial and temporal variations of soil respiration in a Eucalyptus plantation in Congo. *Forest Ecology and Management*, v.202, n.3 p.149-160, 2004.

EVANGELISTA, C. R.; PARTELLI, F. L.; FERREIRA, E. P. B.; CORRECHEL, V. Atividade enzimática do solo sob sistema de produção orgânica e convencional na cultura da cana-de-açúcar em Goiás. *Semina: Ciências Agrárias*, v.33, n.4, p.1251-1262, 2012.

FACCI, L. D. Variáveis microbiológicas como indicadores da qualidade do solo sob diferentes usos. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 2008, 104p. (Dissertação de Mestrado).

FACELLI, J. M.; FACELLI, E. Interactions after death: plant litter controls priority affects in a successional plant community. *Oecologia*, v.95, p. 277-282, 1993.

FERNANDES, M. M.; PEREIRA, M. G.; MAGALHÃES, L. M. S.; CRUZ, A. R.; GIÁCOMO, R. G. Aporte e decomposição de serapilheira em áreas de floresta secundária, plantio de Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* benth.) e Andiroba (*Carapa guianensis* aubl.) na FLONA Mário Xavier, RJ. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.16, p.163-175, 2006.

FERNANDES, T. J. G.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; ALVARENGA, A. P. Quantificação do carbono estocado na parte aérea e raízes de Hevea sp. aos 12 anos de idade, na zona da mata mineira. *Revista Árvore*, v.31, n.4, p.657-665, 2007.

FERREIRA, F. A. Patologia florestal: principais doenças florestais no Brasil, Viçosa: SIF, 570p, 1989.

FIGUEIREDO, C. C.; RESCK, D. V. S.; CARNEIRO, M. A. C. Frações lábeis e estáveis da matéria orgânica do solo sob sistemas de manejo e cerrado nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.34, n.3, p. 907-916, 2010.

FIGUEIREDO-FILHO, A.; MORAES, G. F.; SCHAAF, L. B.; FIGUEIREDO, D. J. Avaliação estacional da deposição da serapilheira em uma floresta ombrófila mista localizada no sul do estado do Paraná. *Ciência Florestal*, v.13, p.11-18, 2003.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F.; SALTON, J. C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.5, p.847-853, 2006.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; BENITES, V. M. Classificação de horizontes diagnósticos em níveis inferiores com base nas frações húmicas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 313-324, 2011.

FONTANA, A.; BRITO, R. J.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BENITES, V. M. Caracterização de substâncias húmicas da camada superficial do solo sob diferentes coberturas vegetais. *Magistra*, Cruz das Almas, v.22, n.1, p. 49-56, 2010.

FUJII, K.; FUNAKAWA, S.; HAYAKAWA, C.; KOSAKI, T. Contribution of different proton sources to pedogenetic soil acidification in forested ecosystems in Japan. *Geoderma* v.144, p.478 – 490, 2008.

- FURTADO, E. L.; TRINDADE, D. R. Doenças da seringueira. In: KIMATI, H; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. Manual de Fitopatologia: doenças das culturas. 4ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005, p.559-569.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P. & CAMARGO, F. A. O. Eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais, 2ed, Porto Alegre, Metrópole, 2008, p.159-170.
- GARCIA, N. C. P.; PEREIRA, A. V.; LIMA, P. C.; SALGADO, L. T.; CARVALHO, J. G.; BRITO, S. A. & CARMO, C. A. F. S. Seringueira, In.: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G. & ALVAREZ, V. V. H. Eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª aproximação, Viçosa, MG, CFSEMG, 1999, p.317-322.
- GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; LEITE, H. G.; VILLANI, E. M. A. Estoque de carbono na biomassa de plantações de eucalipto na região centro-leste do estado de Minas Gerais. Revista *Árvore*, v.35, n.4, p.895-905, 2010.
- GIÁCOMO, R. G.; PEREIRA, M. G.; BALIEIRO, F. C. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição das frações húmicas no solo sob diferentes coberturas florestais. Revista Brasileira de Ciências Agrárias. Recife, v.3, n.1, p.42-48, 2008.
- GOLCHIN, A.; OADES, J. M.; SKJEMSTAD, J. O. P. CLARKE, P. Soil structure and carbon cycling. *Australian Journal of Soil Research*, Victoria, v.32, p.1043- 1068, 1994.
- GONÇALVES, J. L. M.; JUNIOR, L. R. N.; DUCATTI, F. Recuperação de solos degradados, In: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E; MORAES, L. F. D.; ENGEL, V. L.; GANDARA, F. B. Restauração ecológica de ecossistemas naturais, Botucatu – SP: FEPAP, 2003, p.111-163.
- GONÇALVES, J. L. M.; MENDES, K. C. F. S.; SASAKI, C. M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 25, n.3, p.601-616, 2001.
- GRACE, P.; LADD, J. N.; ROBERTSON, G. P.; GAGE, S. S. A simple model for predicting long-term changes in soil organic carbon in terrestrial ecosystems, *Soil Biology & Biochemistry*, v.38, p.1172–1176, 2006.
- 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, v.36, p.909-920, 2012.
- GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G. ; ANJOS, L. H. C.; MENEZES, C. E. G.; CORREIA, M. E. F. Atributos químicos e físicos do solo sob pastagem e estádios sucessionais de floresta estacional, Revista de la Facultad de Agronomía – La plata, v.113, n.1, p.01-24, 2014.
- GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob sistemas de aléias. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 33, n. 74, p. 94-106, 2013a.
- GUARESCHI, R. G.; PEREIRA; M. G.; PERIN, A. Frações da matéria orgânica em áreas de Latossolo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado do estado de Goiás. *Semina*, v.34, n. 6, p.2615-2628, 2013b.

GUPPY, C. N.; MENZIES, N. W.; MOODY, P. W. & BLAMEY, F. P. C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: A review. *Australian Journal Soil Research*, v.43, p.189-202, 2005.

HOUGHTON, R. A. Aboveground Forest Biomass and the Global Carbon Balance. *Global Change Biology*, v.11, p.945–958, 2005.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. O Cultivo da Seringueira (*Hevea spp.*). Disponível em: [http://www.iapar.br/arquivos/File/zip\\_pdf/cultsering.pdf](http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/cultsering.pdf). Acessado em: 23/07/2014.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em: 07/02/2012.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE –IPCC. Climate change 2007, Fourth Assessment Report on climate change impacts, adaptation and vulnerability of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, Cambridge University, 2007, 939p.

INTERNATIONAL RUBBER STUDY GROUP -RSG. Disponível em: <http://www.rubberstudy.com/publications.aspx>. Acessado em 15/05/2013.

JACOVINE, L. A. G.; NISHI, M. H.; SILVA, M. L.; VALVERDE, S. R. & ALVARENGA, A. P. A seringueira no contexto das negociações sobre mudanças climáticas globais, In: ALVARENGA A. P. & CARMO, C. A. F. S. eds, Sequestro de Carbono - Quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural, Viçosa, 2006, p.1-42.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 38, n.2, p.118-127, 2008.

JANZEN, H. H.; CAMPBELL, C. A.; BRANDT, S. A.; LAFOND, G. P.; TOWNLEY-SMITH, L. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations, *Soil Science Society of America Journal*, v.56, p.1799-1806, 1992.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability, *Soil Biology Biochemistry*, v.42, p.1-13, 2010.

KELLNER, H.; LUIS, P.; ZINDARS, B.; KIESEL, B.; BUSCOT, F. Diversity of bacterial lacase-like multicopper oxidase genes in forest and grassland Cambisol soil samples. *Soil Biology & Biochemistry*, v.40, p.638-648, 2008.

KINDEL, A.; CARMO, C. A. F. S.; LIMA, J. A. S.; SIMÕES, B.; ALVARENGA, A. P.; PÉREZ, D. V. Ciclagem de nutrientes e estoque de carbono na serapilheira de seringais e fragmentos da Mata Atlântica, In: Sequestro de Carbono – Quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural. Antônio de Pádua Alvarenga & Ciriaca A. F. S. Carmo. Eds. Viçosa, MG, 2006, 352p.

KONONOVA, M. M. *Materia orgánica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación*, Barcelona: Oikos-tau, 1982, 364 p.

KUWANO, B. H.; KNOB, A.; FAGOTTI, D. S. L.; MELÉM JÚNIOR, N. J.; GODOY, L.; DIEHL, R. C.; KRAWULSKI, C. C.; FILHO, G. A.; FILHO, W. Z.; TAVARES-FILHO, J.; M.; NOGUEIRA, M. A. Soil quality indicators in a rhodic kandiodult under different uses in northern Paraná, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, p.50-59, 2014.

KUZYAKOV, Y. & DOMANSKI, G. Carbon input by plants into the soil, *Journal Plant Nutrition and Soil Science*, v.163, n.421-431, 2000.



- KUZYAKOV, Y.; DOMANSKI, G. Carbon input by plants into the soil, Review, Journal of Plant Nutrition and Soil Science, Weinheim, v.163, n. 4, p.421-431, 2000.
- LAL, R. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global. Science, v.304, p.1623, 2005.
- LAL, R. Soil carbon sequestration in Latin America. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, E. (Eds), Carbon sequestration in soil of Latin America, FPP, New York, 2006, 554p.
- LEÃO, R. M. A Floresta e o Homem, São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais, 448 p. 2000.
- LESSA, A. S.; PEREIRA, T. T. C.; LIMA, L. C. C.; FERNANDES, T. J. G. Quantificação do carbono armazenado na serapilheira em plantios de Hevea spp, (seringueira) no município de Bujari – Acre, In, X Congresso de Ecologia do Brasil, 16 a 22 de Setembro de 2011, São Lourenço – MG, Disponível em: <http://www.seb-ecologia.org.br/xceb/resumos/1748.pdf>. Acessado em 10/07/2014.
- LI, H.; MA, Y.; LIU, W.; LIU, W. Soil Changes Induced by Rubber and Tea Plantation Establishment: Comparison with Tropical Rain Forest Soil in Xishuangbanna, SW China. Environmental Management, v. 50, n.5, p.837-848, 2012.
- LIEBEREI, R. South American leaf blight of the Rubber Tree (Hevea spp.): new steps in plant domestication using physiological features and molecular markers, Annals of Botany, Oxford, v.100, n.6, p.1125-1142, 2007.
- LIMA, J. A. S.; KINDEL, A.; CARMO, C. A. F. S.; MOTTA, P. E. F. Composição, estrutura e biomassa de fragmentos florestais, In.: Sequestro de Carbono – Quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural. Antônio de Pádua Alvarenga & Ciríaca A. F. S. Carmo. Eds, Viçosa, MG, 2006, 352p.
- LISBOA, B. B.; VARGAS, L. V.; SILVEIRA, A. O.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. Revista Brasileira de Ciência Solo, v.36, p. 45-55, 2012.
- LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 4. ed. Nova Odessa: Plantarum, 368 p. 2000.
- LORENZI, H. Árvores brasileiras – manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil, Nova Odessa: Editora Plantarum, 352p, 1998.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G. & BRITO, G.P. Distribuição das substâncias húmicas em solos de Tabuleiro sob diferentes coberturas vegetais. Revista Universidade Rural Série Ciências da Vida, 26:68-77,2006.
- LOSS, A.; MORAES, A. G. L.; PEREIRA, M. G.; SILVA, E. M. R.; ANJOS, L. H. C. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. Comunicata Scientiae, v.1, p.57-64, 2010b.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. Ciência Rural, v.39, n.4, p.1077-1082, 2009.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. Bragantia, Campinas, v.69, n.4, p.913-922, 2010a.

- LOURENÇO, R. S.; MEDRADO, M. J. S.; LISBOA, S. de M. Resposta a NPK por seringueiras em viveiro nas condições do Estado de Rondônia, Porto Velho: Embrapa-Uepae de Porto Velho, Boletim de pesquisa 1988, 19p.
- LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de Cerrado. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.41, p.20-28, 2011.
- LUMBRERAS, J. F.; NAIME, U. J.; CARMO, C. A. F. de S.; GONÇALVES, A. O.; FIDALGO, E. C. C.; AGLIO, M. L. D. Mapa do zoneamento da cultura da seringueira no Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: EMBRAPA SOLOS, 2004, 1 Mapa, color, Escala 1:500,000, disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/sigweb.html>. Acessado em 15/07/2013.
- LYNCH, D. H.; VORONEYR, P. & WARMAN, P. R. Use of  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  natural abundance techniques to characterize carbon and nitrogen dynamics in composting and in compost-amended soils. Soil Biology & Biochemistry, v.38, p.103-114, 2006.
- MACHADO, D. L. Atributos indicadores da dinâmica sucessional em fragmento de Mata Atlântica na região do médio vale do Paraíba do Sul, Pinheiral, Rio de Janeiro, Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2011, 103p. (Dissertação de Mestrado).
- MAGGIOTTO, S. R.; OLIVEIRA, D.; MARUR, C. J.; STIVARI, S. M. S.; LECLERC, M.; RIDDLE, C. W. Potential carbon sequestration in rubber tree plantations in the northwestern region of the Paraná State, Brazil. Acta Scientiarum, Agronomy, Maringá, v.36, n.2, p.239-245, 2014.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações, 2, ed, Piracicaba: POTAFOS, 1997, 319p.
- MARIN, A. M. P.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, E. D.; SAMPAIO, E. V. S. B. Efeito da *Gliricidia sepium* sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistema agroflorestal no Agreste Paraibano. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.30, n.3, p.555-564, 2006.
- MEDRADO, M. J. S.; COSTA, J. D.; FONSECA FILHO, H.; BERNARDES, M. S.; DURAES, F. Ciclagem de nutrientes em seringais de cultivo, Universitário de Agronomia, v.2, p.19-21, 1991.
- MELO, A. W. F. Avaliação do estoque e composição isotópica do carbono do solo no Acre, Piracicaba: ESALQ/USP, 2003, 73p. (Dissertação de Mestrado).
- MENDONÇA, E. S.; LEITE, C. L. F.; NETO, F. P. S. Cultivo do café em sistema agroflorestal: Uma opção para recuperação de solos degradados, Revista Árvore, Viçosa, v, 25, n,05, p.375-383, 2001.
- MENDONÇA, E. S.; ROWELL, D. L.; MARTINS, A. G.; SILVA, A. P. Effect of pH on the development of acidic sites in clayey and sandy loam Oxisol from the Cerrado Region, Brazil. Geoderma, v.132, p.131-142, 2006.
- MENEZES, C. E. G. Integridade da paisagem, manejo e atributos do solo no Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheira-RJ, 175p. 2008. Tese (Doutorado) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.
- MIELNICZUK, J. Matéria Orgânica e Sustentabilidade de Sistemas Agrícolas, In: SANTOS, G, A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). Fundamentos da

matéria orgânica do solo - ecossistemas tropicais e subtropicais, 2ª ed. Pto Alegre, 2008, p.1-59.

MIRANDA, C. C.; CANELLAS, L. P.; NASCIMENTO, M. T. Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de mata atlântica e em plantios abandonados de eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.905-916, 2007.

MONTAGNINI, F.; JORDAN, C. F. Reciclaje de nutrientes, In: GUARIGUATA, M. R.; KATTAN, G. H. (Eds.), *Ecología y conservación de bosques neotropicales*, Cartago: Ediciones LUR, 2002, p.167-191.

MORCELI, P. Borracha natural – Perspectiva para a safra de 2004/2005, *Revista de política agrícola*, n.2 p. 56-67, 2004, Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/28df5ab2d6682ce2062828d9a57bcdba.pdf>, Acessado em 16/02/2012.

MURBACH, M. R. Efeitos de níveis de nitrogênio, fósforo e potássio no desenvolvimento, produtividade de borracha seca e exportação de nutrientes pela seringueira. Piracicaba, 1997, 94p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997.

MURBACH, M. R.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T. M.; SOUZA, E. C. A. Nutrient cycling in a RRIM 600 clone rubber plantation. *Scientia Agricola*, v.60, n.2, p.353-357, 2003.

MURBACH, M. R.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; SILVEIRA, R. I.; BOARETTO, R. M. Adubação NPK e produção de borracha seca pela seringueira (*Hevea brasiliensis*). *Scientia Agricola*, v.56, n.1, Piracicaba, 1999.

NAIME, U. J.; LUMBREAS, J. F.; MOTTA, P. E. F. Zoneamento Agroecológico da Seringueira no Estado do Rio de Janeiro, In: *A cultura da seringueira no estado do Rio de Janeiro: Perspectivas e recomendações técnicas*, Aldo Bezerra de Oliveira, Ciriaca A. Ferreira de Santana do Carmo, Renato Barboza da Cruz, Editores, 136p. Niterói-RJ: PESAGRO, 2009.

NEVES, C. M. N. N.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; CARDOSO, E. L.; MACEDO, R. L. G.; FERREIRA, M. M.; SOUZA, F. S. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvipastoril no noroeste do Estado de Minas Gerais. *Scientia Forestalis* v.74, p.45-53, 2007.

NEVES, E. J. M.; MARTINS, E. G.; REISSMANN, C. B. Deposição de serapilheira e de nutrientes de duas espécies da Amazônia. *Boletim de pesquisa florestal*, Colombo, n.43, p. 47-60, 2001.

NJAR, G. N.; IWARA, A. I.; EKUKINAM, U. E.; DEEKOR, T. N.; AMIOLEMEN, S. O. Organic carbon and total nitrogen status of soils under rubber plantation of various ages, south-southern Nigeria, *Journal of Environmental Sciences and Resource Management*, v.3, p. 1-13, 2011.

OLIVEIRA, D.; PEREIRA, J. P.; RAMOS, A. L. M.; CARAMORI, P. H.; MARUR, C. J.; WAGNER-RIDDLE, C.; VORONEY, P. Carbono na biomassa e na respiração do solo em plantio comercial de seringueira no Paraná, In: *ALVARENGA, A. P.; CARMO, C. A. F. S. Sequestro de carbono: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural*, UFV, Viçosa, 2006, 352p.

PAINEL FLORESTAL – Disponível em: <http://www.painelflorestal.com.br/buscar?cx=005923482379504731225%3Almco5psn9ni&c of=FORID%3A11&ie=UTF-8&q=SERINGUEIRA&sa.x=0&sa.y=0>. Acessado em: 22/05/2014.

- PAIXÃO, F. A.; SOARES, C. P. B. ; JACOVINE, L. A. G. ; SILVA, M. L.; LEITE, H. G.; SILVA, G. F. Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto. *Revista Árvore*, v.30, n.3, p.411-420, 2006.
- PANDEY, R. R.; SHARMA, G.; TRIPATHI, S. K.; SINGH A. K. Litterfall, litter decomposition and nutrient dynamics in a subtropical natural oak forest and managed plantation in northeastern India. *Forest Ecology and Management*, v. 240, p.96-104, 2007.
- PEGORARO, R. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; FONSECA, S.; DAMBROZ, C. S.; Estoques de carbono e nitrogênio nas frações da matéria orgânica em argissolo sob eucalipto e pastagem. *Ciência Florestal*, v.21, n.2, p.261-273, 2011.
- PEIXOTO, R. S.; CHAER, G. M.; FRANCO, N.; REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C.; ROSADO, A. S. A decade of land use contributes to changes in the chemistry, biochemistry and bacterial community structures of soils in the Cerrado. *Antonie van Leeuwenhoek*, v.98, p.403-413, 2010.
- PEREIRA, A. R.; ANGELLOCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. *Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações*, Guaíba: Agropecuária, 2002, 478p.
- PEREIRA, J. P.; DORETTO, M.; LEAL, A. C.; CASTRO, A. M. G. de; RUCKER, N. A. *Cadeia produtiva da borracha natural: análise diagnóstica e demandas atuais no Paraná*, Londrina: IAPAR, 85 p. 2000.
- PEREIRA, M. G.; LOSS, A; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em áreas de Cerrado sob plantio direto, MG. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, p.1-6, 2010.
- PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J. G. M.; CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v.39, p.35-40, 2004.
- PESAGRO (Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro), *Relatório de Atividades do Programa de Heveicultura - Rio Látex*, Janeiro de 2012, 35p. 2012.
- PESSENDA, L. C. R.; GOUVEIA, S. E. M.; LISI, C. S. Isótopos estáveis do carbono da matéria orgânica do solo - uso como indicadores de trocas de vegetação e clima, In: PESSENDA, L. C. R. *Laboratório de <sup>14</sup>C, Técnicas e Aplicações Paleoambientais*, (Série Didática), 1. Ed, Piracicaba: CPG/CENA, 1998, v.2, 57 p.
- PESSOA, P. M. A.; DUDA, G. P.; BARROS, R. B.; FREIRE, M. B. G. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; CORREA, M. M. Frações de Carbono orgânico de um Latossolo Húmico sob diferentes usos no agreste brasileiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, p.97-104, 2012.
- PINHEIRO, E. F. M.; CAMPOS, D. V. B.; BALIEIRO, F. C.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G. Tillage systems effects on soil carbon stock and physical fractions of soil organic matter. *Agricultural Systems*, v.132, p.35-39, 2015.
- PORTUGAL, A. F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C. E. G. R. ;WENDLING, B. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo vermelho-amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.2091-2100, 2008.

- PULROLNIK, K.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BRANDANI, C. B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no vale do Jequitinhonha – Mg. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.1125–1136, 2009.
- RAHAMAN, W. A.; SIVAKUMARAN, S. Studies of carbon sequestration in rubber, [s.l.: s.ed.], 1998. 17 p. Paper presented at the UNCTAD/IRSC Rubber Forum, Bali, Indonesia, October, 1998.
- RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras, 3 ed, rev, Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995, 65p.
- RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; GUILHERME, L. R. G. Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. *Ciência e Agrotecnologia*, v.32, p.429-437, 2008.
- REIS, E. L.; SOUZA, L. F. S.; MELLO, F. A. F. Influência da aplicação de nitrogênio, fósforo e potássio sobre o desenvolvimento da seringueira (*Hevea brasiliensis Müell. Arg.*) no sul da Bahia. *Revista Theobroma*, Ilhéus, v.14, n1, p.45-52, 1984.
- RIBEIRO, S. C.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V.; NARDELLI A. M. B.; SOUZA A. L. Quantificação de Biomassa e Estimativa de Estoque de Carbono em uma capoeira da Zona da Mata Mineira. *Revista Árvore*, v.34, n.3, p.495-504, 2010.
- ROQUE, C. G.; PRADO, R. M.; NATALE, W.; BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Estado nutricional e produtividade da seringueira em solo com calcário aplicado superficialmente. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.39, n.5, p.485-490, 2004.
- ROSCOE, R. & MACHADO, P. L. O. A. Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica, Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002, 86p.
- ROSCOE, R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E. J.; VASCONCELLOS, C. A. Soil organic matter dynamics in density and particle size fractions as revealed by the  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  isotopic ratio in a Cerrado's oxisol. *Geoderma*, v.104, p.185-202, 2001.
- SAENGRUKSAWONG, C.; KHAMYONG, S.; ANONGRAK, N.; PINTHONG, N. Growths and carbon stocks of para rubber plantations on Phonpisai soil series in Northeastern Thailand, *Rubber Thai Journal*, v.1, p.1-18, 2012.
- SAHA, S. K.; RAMACHANDRAN NAIR, P. K.; NAIR, V. D.; MOHAN KUMAR, B. Carbon storage in relation to soil size-fractions under tropical tree-based land-use systems, *Plant Soil*, v. 328, p. 433 – 446, 2010.
- SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. HERNANDES, J. J. I.; KÖNIG, F. G. Produção de serapilheira em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (bertol.) kuntze no município de Pinhal Grande – RS. *Revista Árvore*, Viçosa, v.28, p.29-37, 2004.
- SCNHÜRER, J.; ROSSWALL, T. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. *Applied and Environmental Microbiology*, v.43, p.1256-1261, 1982.
- SETZER, J. Contribuição para o estudo do clima do Estado de São Paulo, São Paulo: Escolas Profissionais Salesianas, 1946, 239 p.
- SHUKLA, M. K.; LAL, R.; EBINGER, M. Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil Tillage Research*, v.87, p.194-204, 2006.

- SILVA, L.C. & CUNHA, H.C.S. 2001. Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro. Brasília: CPRM, 2001.
- SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-357.
- SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G; MIGUEL, D. L.; FERNANDES, J. C. F. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no Médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.36, p.1680-1689, 2012.
- SILVA, E. E. da; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C), Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007, 6p. (Embrapa Agrobiologia Comunicado Técnico, 98).
- SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.
- SILVA, L. G.; MENDES, I. C.; REIS, F. B.; FERNANDES, M. F.; MELO, J. T.; KATO, E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.44, p.613-620, 2009.
- SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N.; ALOVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes – MG. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, p.1585-1592, 2010.
- SINSABAUGH, R. L.; KLUG, M. J.; COLLINS, H. P.; YEAGER, P. E.; PETERSON, S. O. Characterizing soil microbial communities. In: ROBERTSON, G. P.; COLEMAN, D. C.; SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M; C; COSTA J. R. C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma Cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.35, p.63-76, 2011.
- SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. D. C.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Greenhouse gas emission caused by different land-uses in brazilian Savannah. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, n. 1, p. 63-76, 2011.
- SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. Soil Tillage Research, v.76, p.39-58, 2004.
- SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S. M.; MORAES, J. C.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – Effects of no-tillage, Agronomie, v.22, p.755-775, 2002.
- SMITH, B. N.; EPSTEIN, S. Two categories of  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios for higher plants, Plant physiology, v.47, p.380-384, 1971.
- SOUZA, A. L.; BOINA, A.; SOARES, C. P. B.; VITAL, B. R.; GASPAR, R. O.; LANA, J. M. Estrutura fitossociológica, estoques de volume, biomassa, carbono e dióxido de carbono em floresta estacional semidecidual. Revista Árvore, v.36, n.1, p.169-179, 2012.
- SPERANDIO, H. V.; CECÍLIO, R. A.; SILVA, V. H.; LEAL, G. F.; BRINATE, I. B.; CALDEIRA, M. V. W. Emprego da Serapilheira Acumulada na Avaliação de Sistemas de Restauração Florestal em Alegre-ES. Floresta e Ambiente, v.19, n.4, p.460-467, 2012.

STEVENSON, F. J. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions Wiley-Interscience. New York, 1994, 496p.

SWIFT, R. S. Organic matter characterization, In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (Ed.). Methods of soil analysis, Madison: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, p.1011-1020, 1996.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: CHAIR, R. W. W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P.; BENZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A.; WOLLUM, A. (Ed.), Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties, Madison: Soil Science Society of America, p.775-834, 1994.

TARRÉ, R.; MACEDO, R.; CANTARUTTI, R. B.; REZENDE, C. P.; PEREIRA, J. M.; FERREIRA, E.; ALVES, B. J. R. ; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under Brachiaria pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. Plant and Soil, v.234, n.1, p.15–26, 2001.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J. & BOHNEN, H. Análise de solo, plantas e outros materiais, (Boletim técnico de solos, 5), Porto Alegre, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995, 188p.

TORRES, A. Q. Dinâmica da matéria orgânica do solo em área degradada em recuperação com plantio de leguminosas arbóreas, no município de Angra dos Reis, RJ. Rio de Janeiro, Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2011, 103p. (Dissertação de Mestrado).

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.1173-1184, 2007.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C. & JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. Soil Biology Biochemistry, v.19, p.703-707, 1987.

VEZZANI, F.M.; CONCEIÇÃO, P.C.; MELLO, N.A. & DIECKOW, J. Matéria orgânica e qualidade do solo. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Cinco Continentes, 2008. p.483-494.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo, Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.33, p.743-755, 2009.

VIDOTTO, E.; PESSENDA L. C. R.; RIBEIRO, A. S.; FREITAS, H. A. ; BENDASSOLLI, J. A. Dinâmica do ecótono floresta-campo no sul do estado do Amazonas no Holoceno, através de estudos isotópicos e fitossociológicos. Acta Amazônica, v.37, p.385-400, 2007.

VIÉGAS, I. de J. M. Doses de NPK em viveiro de Hevea sp, Na obtenção de plântulas aptas para enxertia em Latossolo amarelo textura média na Ilha do Mosqueiro, PA, Piracicaba: ESALQ, 1985, 71p.(Dissertação de mestrado).

VIÉGAS, I. de J. M.; CARDOSO, A.; VIÉGAS, R. M. F.; ALBUQUERQUE, F. A. B. de. Calagem e parcelamento da adubação em porta-enxerto de seringueira, Belém: Embrapa-UEPAE de Belém, 1988, 19p. Boletim de pesquisa n.6.

VIÉGAS, I. de J. M.; CARVALHO, J. G.; FRAZÃO, D. A. C. Desordens Nutricionais na Cultura da Seringueira: Critérios de Diagnose para Solo e Plantas e Correções de Deficiência,

- In.: Seringueira: Nutrição e Adubação no Brasil,- Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de Tecnologia; Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000, 284p.
- VIÉGAS, I.; J.; M, & CARVALHO, J.; G, Seringueira: Nutrição e Adubação no Brasil,- Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de Tecnologia; Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000, 284p.
- VIEIRA, S. A.; ALVES, L. F.; AIDAR, M.; ARAUJO, L. S. A.; BAKER, T. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. *Biota Neotropica*, v.8, n.2, p.21-29, 2008.
- VIERA, M.; CALDATO S. L.; ROSA S. F.; KANIESKI. M. R.; ARALDID, B.; SANTOS. S. R.; SCHUMACHER M. V. Nutrientes na serapilheira em um fragmento de floresta estacional decidual, Itaara, RS. *Ciência Florestal*, v.20, p.611-619, 2010.
- VIRGENS FILHO, A. C.; MOREIRA, A.; CASTRO, P. R. C. Efeito da calagem e adubação da seringueira no estado nutricional e produção da borracha seca. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, p.1019-1026, 2001.
- 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*, v.28, p.793-800, 2004.
- WATZLAWICK, L. F. SANQUETTA. C. R.; CALDEIRA, M. V. W. Estoque de Carbono Orgânico e Biomassa em *Pinus taeda* L. *Biomassa e Energia*, v.2, p.7-17, 2005.
- WAUTERS, J. B.; COUDERT, S.; GRALLIEN, E.; JONARDA, M.; PONETTEA, Q. Carbon stock in rubber tree plantations in Western Ghana and Mato Grosso (Brazil). *Forest Ecology and Management* v.255, p.2347–2361, 2008.
- YAMADA, E. S. M. Zoneamento agroclimático de *Jatropha curcas* L, como subsídio ao desenvolvimento da cultura no Brasil visando a produção de biodiesel, Esalq/USP, Piracicaba, 2011,135p. (Dissertação de Mestrado- Física do Ambiente Agrícola), 2011.
- YANG. J. C.; HUANG, J. H.; TANG, J. N.; PAN, Q; M; HAN, X. G. Carbon Sequestration in rubber tree plantations established on former arable lands in Xishuangbanna, SW China. *Acta Phytoecologia Sinica*, v.29, n.9, p.296-303, 2005.
- YEOMANS, J. C. & BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Comm. Soil Science, Plant Analysis*, v.19, p.1467-1476, 1988.
- ZHANG, H.; ZHANG, G. L.; ZHAO, Y. G.; ZHAO, W. J.; QI, Z. P. Chemical degradation of a Ferralsol (Oxisol) under intensive rubber (*Hevea brasiliensis*) farming in tropical China. *Soil & Tillage Research*, v.93, p.109–116, 2007.