

UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS

DISSERTAÇÃO

**Qualidade do Solo Sob Sistemas Agroflorestais, Pastagens
e Agrícolas no Bioma Mata Atlântica**

Ramon Pittizer Moreira

2019



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS**

**QUALIDADE DO SOLO SOB SISTEMAS AGROFLORESTAIS,
PASTAGENS E AGRÍCOLAS NO BIOMA MATA ATLÂNTICA.**

RAMON PITTIZER MOREIRA

Sob a Orientação do Pesquisador
Fabiano de Carvalho Balieiro

e Co-orientação da Pesquisadora
Cristhiane Oliveira da Graça Amâncio

e Co-orientação do Professor
Marcos Gervasio Pereira

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências Ambientais e Florestais**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Silvicultura e Manejo Florestal.

Seropédica, RJ
Junho de 2019

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M835q Moreira, Ramon Pittizer, 1992-
Qualidade do solo sob sistemas agroflorestais,
pastagens e agrícolas no bioma Mata Atlântica / Ramon
Pittizer Moreira. - Seropédica, 2019.
88 f.: il.

Orientador: Fabiano de Carvalho Balieiro.
Coorientadora: Cristhiane Oliveira da Graça Amâncio.
Coorientador: Marcos Gervásio Pereira.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em
Ciências Ambientais e Florestais, 2019.

1. Qualidade do solo. 2. Matéria orgânica. 3.
Sistema Agroflorestal. 4. Fracionamento físico do
solo. 5. DRES. I. Balieiro, Fabiano de Carvalho ,
1975-, orient. II. Amâncio, Cristhiane Oliveira da
Graça, 1975-, coorient. III. Pereira, Marcos Gervásio,
1965-, coorient. IV Universidade Federal Rural do Rio
de Janeiro. Programa de Pós Graduação em Ciências
Ambientais e Florestais. V. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

RAMON PITTIZER MOREIRA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais e Florestais, no Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de Concentração em Silvicultura e Manejo Florestal.

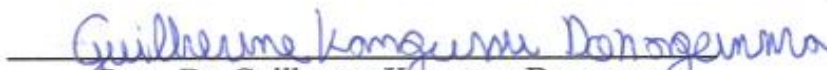
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 28/06/2019.



Pesq. Dr. Fabiano de Carvalho Balieiro. Embrapa Solos
(Orientador)



Pesq. Dr. Alexander Silva de Resende
(Membro externo)



Pesq. Dr. Guilherme Kangussu Donagemma
(Membro externo)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Leila Pittizer e Juacy Moreira pela construção do meu caráter e apoio incondicional para que hoje estivesse aqui.

Aos meus avôs Zely Pittizer, Alfredo Pittizer (in memoriam) e Lourd Moreira, pessoas inspiradoras para construção da pessoa que me tornei.

Dedico esta obra.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Juacy da Silva Moreira e Leila Pittizer Moreira, pelos valores transmitidos, pelo carinho e mesmo com toda saudade, me apoiaram e me incentivaram. Sem vocês, não estaria completando mais esta etapa na minha vida.

Aos meus avós Zely Pittizer, Alfredo Pittizer (*in memoriam*) e Lourd Moreira e meus irmãos Glauco Moreira e Roulien Moreira e a toda minha família, por apoiarem minhas escolhas, torcerem por mim e por estarem sempre presentes nos momentos importantes.

À Camilla Nöel, por todo amor, zelo, carinho, confiança, compreensão e por sempre me incentivar na conquista dos meus objetivos.

Ao meu orientador Dr. Fabiano de Carvalho Balieiro por ter aceitado o desafio de construir e orientar esse projeto.

Aos meus coorientadores Dra. Cristhiane Oliveira da Graça Amâncio e Dr. Marco Gervasio Pereira que durante o desenvolvimento da pesquisa e dissertação foram sempre solícitos nas demandas levantadas e que muito contribuíram com nos ensinamentos.

Aos queridos amigos Marjorie, Gustavo, Thamires, Shirlei, Wilbert, Luiz e Oclizio que diretamente contribuíram imensamente para que este estudo pudesse ser desenvolvido, expedições de campo, análises laboratoriais e análises estatísticas: Muito obrigado.

À Agrojardim, ao Centro Tiê de Agroecologia, em especial ao Jaime, Simone e Marina, Thiago Japa e Anselmo Paçoca pelo acolhimento e o carinho que tiveram conosco todo esse tempo. Que os campos foram muito melhores por poder partilhar com vocês as alegrias e avanços da agroecologia em Casimiro de Abreu e as angústias do cenário político-social brasileiro.

À Associação Mico Leão Dourado pelas portas abertas para o desenvolvimento de pesquisas na busca por soluções sustentáveis na preservação da Mata Atlântica entendendo o pequeno agricultor como parte essencial desse objetivo. Em especial aos amigos Nelsinho, Rodolpho e Claudioneia por acreditar na agroecologia, pela articulação com os agricultores e por toda receptividade de sempre.

As amigas do Gueto Rás, Gustavo Trindade, Fernando Igne, Catherina Buratta, Juliana Freitas, Felipe Salles e Oclizio Medeiros, família que passei boa parte desse período de mestrando, pelas trocas, pelos manejos e colheitas do quintal, do “Seu Buda convoca” e as integrações vividas que foram de certos, pra vida.

Aos amigos do NIA, Cristhiane Amâncio, Larissa Aparecida, Sashia Cristhina, Marjorie Ochowski, Isabella Trece, Brisa Lima, Enok Junior, Robson Amâncio, Ilzo Rizzo, Igor Carvalho por todo carinho, amizade e parceria de sempre, pelas vivências nos espaços que a agroecologia existe, resiste e avança.

À Banca avaliadora, grandes profissionais que respeito e me espelho muito ética e profissionalmente por terem aceitado participar da banca e pelas contribuições a este trabalho.

Ao Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (Embrapa Agrobiologia) e ao Centro Nacional de Pesquisa em Solos (Embrapa Solos) por toda a infraestrutura disponibilizada para as atividades de coleta e processamento das amostras desse estudo.

Ao Dpto. de Silvicultura (Instituto de Florestas) e Dpto. de Solos (Instituto de Agronomia) e todo o corpo docente e administrativo, pelas disciplinas e pela estrutura e desenvolvimento da pesquisa.

Em especial ao Laboratório de Gênese e Classificação de Solos (LGCS), ao Professor Marcos Gervásio e Professora Lúcia Anjos e os amigos que ali fiz Victória, Wilbert, Luiz, Deivid, Shirley, Sidnei, Elias, Roberto, Vitória e aos mais novos, o qual trabalhei muitas horas em suas bancadas para obtenção dos resultados apresentados aqui. Ao professor Zonta também por disponibilizar seus equipamentos para realização da minha pesquisa.

A todos os técnicos e analistas e pesquisadores Ernane, Aurélio, Naldo, Ednelson, Roberto, Renato, Bira, João, Sérgio, Paulo, Aislan, Gilson, Maria Helena, Silmara, Janaina e Adriana, que sempre solícitos, ajudaram a obter os resultados aqui alcançados.

Ao Flávio, irmão que mesmo distante se faz sempre presente na minha trajetória.

Aos companheiros e companheiras da agroecologia que muito me ensina e me fortalece na luta na construção de uma sociedade mais saudável, justa e igualitária.

À UFRRJ, por ter me proporcionado a formação técnica, política e social de que necessito para atuar como engenheiro florestal e agora mestre em ciências ambientais e florestais com excelência.

A todas as brasileiras e brasileiros que financiam a universidade pública, por esse povo que me motiva a promover o ensino, a pesquisa e a extensão em sua defesa.

E à todos e todas que contribuíram direta ou indiretamente para que eu chegasse até este momento, meu muito obrigado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

RESUMO GERAL

MOREIRA, Ramon Pittizer. **Qualidade do solo sob sistemas agroflorestais, pastagens e agrícolas no Bioma Mata Atlântica**. 2019. 88f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais). Instituto de Florestas, Departamento de Silvicultura, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2019.

Avaliar se a qualidade do solo pode mostrar, envolver ou integrar a produção de alimentos e preservação do meio ambiente é objetivo geral desse trabalho. Os sistemas agroflorestais (SAFs) são exemplos de usos da terra que conjugam conservação e produção, apresentando serviços ecossistêmicos (SEs) diversos. Muitos desses SEs emergem de processos do solo e por isso o monitoramento de propriedades e atributos podem auxiliar na avaliação da qualidade solo. O Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES) é uma ferramenta de avaliação visual de características físicas do solo ideal para esse tipo de estudo. O fracionamento granulométrico estuda a matéria orgânica do solo (MOS) reduzindo a heterogeneidade e separando em frações homogêneas quanto à dinâmica e função. O objetivo desse trabalho foi comparar SAFs aos usos da terra (UT) predominante na região de Casimiro de Abreu e Silva Jardim (agricultura convencional, pastagem) com base nos teores e estoques de carbono e nitrogênio do solo, na qualidade física do solo e nas frações granulométricas da MOS. As amostras foram obtidas de camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e, 20-40 cm de profundidade do solo, incluindo áreas de fragmentos florestais, utilizadas apenas como referência. Foram determinados os teores e estoques de carbono e nitrogênio total (NT) de terra fina seca ao ar (TFSA), das frações particulada (MOp) e associada aos minerais (MOam) da MOS. O DRES gerou índices de qualidade do solo (IQES), que consideram também a presença e abundância de raízes e a cobertura do solo. Os fragmentos florestais obtiveram os maiores teores de C ($14,55 \text{ g kg}^{-1}$) e N ($1,86 \text{ g kg}^{-1}$) e se diferenciaram mais da agricultura ($10,47 \text{ g kg}^{-1}$ de C e $1,22 \text{ g kg}^{-1}$ de N). O SAF ($13,02 \text{ g kg}^{-1}$ de C e $1,50 \text{ g kg}^{-1}$ de N) apresentou resultado mais próximo do fragmento florestal, mas não se diferenciou da pastagem ($12,2 \text{ g kg}^{-1}$ de C e $1,31 \text{ g kg}^{-1}$ de N) e agricultura. Os estoques de C e N no SAF ($59,70 \text{ Mg ha}^{-1}$ de C e $5,10 \text{ Mg ha}^{-1}$ de N) foram maiores que os de agricultura ($44,24 \text{ Mg ha}^{-1}$ de C e $5,10 \text{ Mg ha}^{-1}$ de N). Quanto as frações granulométricas, o SAF apresentou teores em MOp (0-5 cm) (11,5 % do N e 9,2 % do C) semelhantes à floresta nativa (12,3 % do N e 9,09 % do C). Os maiores estoques em MOam (20-40 cm) foram observados na floresta (94,5 % do C e 94,3 % do N) e no SAF (93,2 % do C e 91,7 % do N). O fragmento florestal apresentou a melhor IQES (5,22), seguida pelo SAF (4,93), pastagem (3,80) e, agricultura (2,55). O DRES resultou em índices de qualidade do solo que expressam as diferenças entre usos do solo, além de terem boa correlação com os estoques de C e N. O SAF é o uso antrópico que mais conserva o estoque de carbono na fração estável da MOS em profundidade, podendo ser considerado como potencial alternativa sustentável para produção agrícola e conservação do solo na região estudada. Os teores das frações granulométricas da MOS são eficientes na identificação de mudanças ocasionadas no solo pelo uso. O DRES pode ser indicado como uma ferramenta de fácil acesso para avaliação da qualidade do solo na prática da assistência técnica e extensão rural além da própria utilização pelos agricultores e proprietários rurais uma vez que é fácil, rápido e relaciona-se com atributos relacionados com funções do solo.

Palavras-chave: Sistemas agroflorestais (SAF), Matéria orgânica do solo, Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES), Fracionamento granulométrico.

GENERAL ABSTRACT

MOREIRA, Ramon Pittizer. **Soil quality under agroforestry, pasture and agricultural systems in the Atlantic Forest Biome**. 2019. 88f. Dissertation (Master Science in Environment and Forest Science). Forest Institute, Department of Silviculture, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2019.

To evaluate whether soil quality can show, involve or integrate food production and preservation of the environment is a general objective of this work. Agroforestry Systems (AFSs) are examples of land uses that combine conservation and production, presenting diverse ecosystem services (ESs). Many of these SEs emerge from soil processes and, therefore, the monitoring of properties and attributes can assist in the evaluation of soil quality. The rapid diagnosis of soil structure (DRES) is a visual assessment tool of physical characteristics of the soil ideal for this type of study. The granulometric fractionation studies the soil organic matter (SOM), reducing the heterogeneity and separating in homogeneous fractions as to the dynamics and function. The objective of this work was to compare AFSs to land uses (UT) predominant in the region of Casimiro de Abreu e Silva Jardim (conventional agriculture, pasture) based on soil carbon and nitrogen contents and stocks, soil physical quality and fractions granulometry of SOM. The samples were obtained from layers of 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm of soil depth, including areas of forest fragments, used only as reference. The levels and stocks of carbon and total nitrogen (TN) of thin dry land (TFSA), of particulate fractions (OMp) and associated with minerals (OMam) of SOM were determined. DRES generated soil quality indexes (IQES), which also consider the presence and abundance of roots and soil cover. The forest fragments obtained the highest contents of C (14.55 g kg⁻¹) and N (1.86 g kg⁻¹) and differed more from the agriculture (10.47 g kg⁻¹ of C and 1.22 g kg⁻¹ of N). The AFS (13.02 g kg⁻¹ of C and 1.50 g kg⁻¹ of N) presented a result closest to the forest fragment but did not differentiate from the pasture (12.2 g kg⁻¹ of C and 1.31 g kg⁻¹ of N) and agriculture. The stocks of C and N in the AFS (59.70 Mg ha⁻¹ of C and 5.10 Mg ha⁻¹ of N) were higher than those of agriculture (44.24 Mg ha⁻¹ of C and 5.10 Mg ha⁻¹ of N). As for the granulometric fractions, the AFS presented levels in OMp (0-5 cm) (11,5 % do N e 9,2 % do C) like the native forest (12,3 % do N e 9,09 % do C). The largest stocks in OMam (20-40 cm) were observed in the forest (94,5 % do C e 94,3 % do N) and in the AFS (93,2 % do C e 91,7 % do N). The forest fragment presented the best IQES (5.22), followed by AFS (4.93), Pasture (3.80) and Agriculture (2.55). The DRES resulted in soil quality indices that express the differences between land uses, besides having a good correlation with the stocks of C and N. AFS is the anthropic use that most conserves carbon stocks in the stable fraction of SOM in depth, and can be considered as a potential sustainable alternative for agricultural production and soil conservation in the studied region. The contents of the granulometric fractions of SOM are efficient in the identification of changes caused in the soil by use. DRES can be indicated as an easy-to-access tool for assessing soil quality in the practice of technical assistance and rural extension in addition to its own use by farmers and rural owners since it is easy, fast and relates to attributes related to soil functions.

Key words: Agroforestry systems, soil organic matter, rapid diagnosis of soil structure (DRES), granulometric fractionation.

LISTA DE FIGURA

Figura 1. Arranjo espacial de partículas minerais e orgânicas do solo. COM - complexos organo-minerais; MONC - matéria orgânica não complexada. A, recalcitrância; B, oclusão; e C, complexação/ligação com as partículas minerais.	8
Figura 2. Mapa da região de estudo indicando os limites municipais (marrom), APA Bacia do Rio São João/Mico Leão Dourado (vermelho), REBio Poço das Antas (preto) e, REBio União (azul).	16
Figura 3. Mapa indicativo da localização dos pontos amostrados e de seus respectivos Usos do Solo.	18
Figura 4. Área com uso da terra em Sistema Agroflorestal.	19
Figura 5. Área com uso da terra em agricultura.	20
Figura 6. Área com uso da terra em Pastagem.	21
Figura 7. Área com cobertura do solo em fragmento florestal de Mata Atlântica.	22
Figura 8. Etapas de obtenção do monólito e resultado da manipulação para avaliação da estrutura do solo pelo método do DRES (RALISCH et al., 2017). a) Mini-trincheira; b) Monólito; c) Manipulação da amostra; d) Separação de camadas.	26
Figura 9. Esquematização dos critérios de avaliação e notas de qualidade estrutural da camada (Qec). Fonte: Ralisch et al. (2017).	27
Figura 10. Teores médios com desvio-padrão de Carbono (a direita) e Nitrogênio (a esquerda), em g kg^{-1} de solo, em usos da terra (agricultura, pastagem, SAF e em fragmentos florestais) na profundidade até 40 cm.	31
Figura 11. Estoques de Carbono do solo, em Mg.ha^{-1} , em sistemas de uso do solo até 40 cm de profundidade.	32
Figura 12. Estoques de Nitrogênio do solo, em Mg.ha^{-1} , em sistemas de uso do solo até 40 cm de profundidade.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores médios e (erros padrão) de atributos físicos e químicos dos solos na profundidade 0-40 cm sob diferentes usos.....	23
Tabela 2. Teores de carbono e nitrogênio e relação C/N distribuídos nos intervalos de profundidades até 40 cm nos diferentes sistemas de uso do solo.	29
Tabela 3. Estoques de carbono e nitrogênio e relação C/N distribuídos nos intervalos de profundidades até 40 cm nos diferentes sistemas de uso do solo.	31
Tabela 4. Notas de qualidade para cobertura do solo, abundância de raízes e Índice de Qualidade da Estrutura do Solo (IQEA) para sistemas de uso do solo (UT).....	34
Tabela 5. Coeficientes de Correlação de Pearson entre os teores de C e N e Índice de Qualidade da Estrutura do Solo (IQES), abundância de raízes e cobertura do solo para sistemas de uso do solo (UT).	35
Tabela 6. Teores de carbono e nitrogênio e relação C/N das frações particulada (MOp) e associada aos minerais (MOam) da matéria orgânica do solo distribuídos nos intervalos de profundidades até 40 cm e na profundidade total nos diferentes sistemas de uso do solo.	45
Tabela 7. Estoques de carbono e nitrogênio e relação C/N das frações particulada (MOp) e associada aos minerais (MOam) da matéria orgânica do solo distribuídos nos intervalos de profundidades até 40 cm e na profundidade total nos diferentes sistemas de uso do solo.	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Usos da terra e qualidade do solo	3
2.2. Carbono orgânico do solo	4
2.3. Sistemas agroflorestais e estoques de carbono do solo	5
2.4. Fracionamento físico da matéria orgânica do solo	7
2.5. Mecanismos de estabilização do C no solo	8
2.6. Diagnóstico rápido da estrutura do solo	9
3. OBJETIVOS	10
3.1. Geral:	10
3.2. Específicos:	10
4. CAPÍTULO I.....	11
RESUMO.....	12
ABSTRACT	13
1. INTRODUÇÃO.....	14
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
2.1. Caracterização das áreas de estudo.....	16
2.2. Usos da terra e sistemas amostrados.....	18
2.3. Procedimentos de amostragem	25
2.4. Análises físicas e químicas e cálculo dos estoques de C e N	25
2.5. Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES).....	26
2.6. Análises estatísticas	28
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
3.1. Uso da terra e impacto sobre os teores de C e N do solo.....	29
3.2. Estoques de Carbono e Nitrogênio do solo.....	31
3.3. Avaliação da qualidade física do solo nos sistemas	33
4. CONCLUSÕES	36
5. CAPÍTULO II.....	37
RESUMO.....	38
ABSTRACT	39
1. INTRODUÇÃO.....	40
2. MATERIAL E MÉTODOS	42
2.1. Caracterização das áreas de estudo.....	42
2.2. Fracionamento físico da matéria orgânica	42
2.3. Análise química das frações da MOS.....	42

2.4. Análise estatística	43
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
3.1. Qualidade do teor de C e N no fracionamento granulométrico da MOS decorrente do uso da terra.....	44
3.2. Impacto do uso da terra sobre os estoques de C e N das frações físicas da MOS	47
4. CONCLUSÕES	50
6. CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS.....	51
7. REFERÊNCIAS.....	52
8. ANEXOS	63
A. Gráficos TFSA	63
B. Gráficos MOp	68
C. Gráficos MOam	72

1. INTRODUÇÃO GERAL

A conversão de ecossistemas nativos para produção alimentar no mundo tem resultado em mudanças nos componentes físico, químico e biológico dos solos (TRUMBONE & CAMARGO, 2009; FAO & ITPS, 2015; BARETTA et al., 2011; ARAÚJO et al., 2011) e afetado, assim, a sua conservação. O modelo de agricultura de base industrial, fundamentada na monocultura, no uso de insumos químicos sintéticos e agrotóxicos e revolvimento do solo vêm, nos últimos cinquenta anos, promovendo a perda de biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos do meio ambiente (DIRZO & RAVEN, 2003; OLIVEIRA et al., 2008; ROOS, 2012; SAMBUICHI et al., 2012; CHAPLIN-KRAMERA et al., 2015; SILVA et al., 2018). Além disso, tem provocado também danos sobre a qualidade de vida e a saúde do homem do campo e da cidade (CONFALONIERI, et al. 2002; JARDIM, et al., 2009; ABREU & ALONZO, 2014; CARNEIRO et al., 2012; AUGUSTO et al., 2012; RIGOTTO et al., 2012; ALESSI & NAVARRO, 1997; ARAÚJO et al., 2007). Da mesma forma, as transformações a partir do desmatamento e queimadas das florestas têm contribuído significativamente para o aumento da concentração dos gases de efeito estufa (GEEs) (FAO & ITPS, 2015; REAY et al., 2012; MOTTA, et al., 2011; MCTI, 2017). O relatório “Status dos recursos do solo do mundo” da Organização das Nações Unidas para Alimentação e agricultura (FAO) e do Painel Técnico Intergovernamental do solo (ITPS) revela que 33% dos solos do mundo estão degradados (FAO & ITPS, 2015).

Atualmente, sistemas de produção e práticas agrícolas que visam conservar o solo e a água, mitigando o aquecimento global sem perder de vista a produção de alimentos, são caminhos para o desenvolvimento sustentável. Com base na preocupação com a produção alimentar bem como com a preservação do meio ambiente e a manutenção do solo livre de insumos prejudiciais à vida, vários conceitos para qualidade do solo passaram a ser construídos. Um conceito bastante representativo desse contexto é de DORAN & PARKIN (1994) que define “a qualidade do solo como sendo a capacidade em manter a produtividade biológica, a qualidade ambiental e animal saudável na face da terra”. Os autores afirmam que para avaliar a qualidade do solo, torna-se necessário caracterizar os processos e as propriedades do solo que afetam sua capacidade produtiva.

Ao mesmo tempo em que se buscam novas soluções ao modelo convencional de agricultura, as áreas destinadas à produção em monocultivos de larga escala tem aumentado a cada ano (CHAPLIN-KRAMERA et al., 2015) e com ela a degradação dos solos cultiváveis. No Brasil, o histórico de ocupação e uso da terra do Bioma Mata Atlântica, deixou apenas 16.266.640 ha de florestas e, em especial de fragmentos, o que equivale a 12,4% da cobertura original (SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2018). Mais recentemente, o padrão de ocupação para uso agrícola migrou para regiões de aumento populacional mais recente, como é o caso do Cerrado no centro-oeste, norte e nordeste do país como é o caso da região conhecida como MATOPIBA (BODDEY et al., 2006; CONAB, 2019) lançando mão da incorporação de insumos externos mediante há um elevado gasto energético.

A agricultura hegemônica no mundo hoje “patina” na implementação de usos da terra que conciliem a produção e a conservação dos ambientes e, principalmente, dos solos. Algumas iniciativas se consolidaram no manejo dos sistemas agrícolas como é o caso do sistema de plantio direto que preserva boa parte das funções e serviços ecossistêmicos do solo. Os solos representam um dos maiores reservatórios de carbono, estimado entre 1500 (IPCC, 2000) e 2000 Pg (quatro vezes mais que a biomassa vegetal) e influenciam diretamente no ciclo global do carbono (JANZEN, 2004). Ainda que novas e velhas alternativas venham sendo discutidas

e estudadas e utilizadas por comunidades tradicionais, o grande investimento econômico é na produção agropecuária a nível mundial e feito para o modelo convencional. Este modelo vem acarretando sérios prejuízos para a fauna, flora, água e solo (BONAN E DONEY, 2018; FAO, 2018).

Uma alternativa de produção sustentável que concilia a produção de alimentos com a conservação ambiental são os sistemas agroflorestais (SAFs). Segundo o Manual Agroflorestal para a Mata Atlântica, publicado em 2008, os SAFs são usos da terra nos quais espécies perenes lenhosas (árvores, arbustos, palmeiras e bambus) são intencionalmente utilizadas e manejadas em associação com cultivos agrícolas e/ou animais (MAY & TROVATTO, 2008). Os SAFs têm sido utilizados por diferentes agrupamentos humanos ao longo da história da humanidade. Estes podem representar uma importante ferramenta para mitigação do carbono na atmosfera aumentando o sequestro de C no solo e na biomassa a partir da adição de resíduos vegetais dos componentes perenes que ajudam a manter o balanço positivo de entrada e saída de C do sistema e da fotossíntese líquida do componente arbóreo (ALBRECHT & KANDJI, 2003; MONTAGNINI & NAIR, 2004; JOSE, 2009; NAIR, 2011; ARAÚJO et al., 2013). Além disso, o sistema busca a diminuição de insumos sintéticos, o que diminui o gasto energético do sistema. Apesar da importância histórica e de seus predicativos sustentáveis, os estudos técnico-científicos relacionados aos SAFs são relativamente escassos se comparados com os modelos de produção de larga escala ou convencionais, especialmente quanto à capacidade desses sistemas em armazenar e sequestrar C no solo.

Preocupados com a conservação da Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro, diversas instituições promovem ações de restauração florestal com o intuito de proteção de espécies ameaçadas de extinção e conservação dos ecossistemas. A secretaria de agricultura do município de Casimiro de Abreu, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, a Articulação de Agroecologia do Rio de Janeiro e a Associação Mico Leão Dourado (AMLD) são algumas dessas instituições que organizam esse tipo de trabalho na região.

Ações de conscientização da população local sobre a conservação ambiental, bem como a sensibilização dos agricultores na zona rural do entorno da Reserva Biológica Poço das Antas culminaram na implantação de uma série de sistemas agroflorestais na região. Segundo informações da AMLD mais de 60 famílias foram envolvidas em atividades de capacitação, além do vínculo com 3 assentamentos de reforma agrária, 10 hectares de SAFs implantados e aumento na renda de 20 famílias com a produção e comercialização de produtos agroflorestais. No apoio à comercialização de produtos agroflorestais, foram implantadas uma feira no município de Silva Jardim e uma no município de Casimiro de Abreu, além do acesso desses produtores a políticas públicas como o PNAE (Plano Nacional de Alimentação Escolar).

A partir desse cenário é importante que a academia e o agricultor familiar se aproximem em investigações que promovam e, ou comprovem a sustentabilidade de distintas experiências testadas.

A presente pesquisa se fundamenta na necessidade de se garantir alimentos em consonância com a preservação do solo e do meio ambiente em um ambiente já degradado pelo homem, a região litorânea da Mata Atlântica. Nesse sentido há necessidade de se mensurar o impacto de usos da terra sobre a qualidade física e química do solo e mais especificamente com os mecanismos de estabilização do carbono do solo na região Serramar do Estado do Rio de Janeiro.

Essa proposta baseia-se na hipótese científica de que os sistemas agroflorestais por serem mais diversos podem estocar mais carbono nas frações estáveis (organominerais) da matéria orgânica do solo que outros usos da terra (pastagens e áreas agrícolas) pela maximização dos processos biogeoquímicos acima e abaixo da superfície entre seus componentes. Assim, a estocagem de carbono confere melhor qualidade do solo e do ambiente, contribuindo para o sequestro de carbono e serviços a matéria orgânica associados e, interfere positivamente nas relações produtivas dos agricultores da região Serramar do Estado do Rio de Janeiro promovendo maior diversificação e melhor qualidade de seus produtos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Usos da terra e qualidade do solo

Estima-se que entre os anos de 1990 e 2015 a perda líquida de cobertura florestal mundial foi da ordem de 129 milhões de hectares, que corresponde ao território da África do Sul (FAO, 2016). 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 de gases de efeito estufa (GEE). Estimativas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) apontam aproximadamente 24% das emissões mundiais de CO₂, 55% das emissões de CH₄, e 85% do total das emissões de N₂O para a atmosfera são devidos às conversões dos ecossistemas nativos para agrossistemas somados à agricultura.

O reconhecido “aquecimento global” no planeta é devido ao aumento exponencial de emissões de GEE a partir da revolução industrial. As mudanças no funcionamento ecossistêmico e sobre o bem-estar humano tem guiado a discussão e o desenvolvimento de iniciativas de mitigação de níveis locais a internacionais (KIRBY & POTVIN, 2007). As emissões de GEE podem ser potencializadas ou mitigadas dependendo do modelo de sistema agrícola ou condição de manejo adotado (DIXON, 1995; PAUSTIAN et al., 1997; ALBRECHT & KANDJI, 2003; DENEFF, 2007). Com a passagem de ambientes naturais para sistemas agropecuários, várias características do solo sensíveis ao manejo são alteradas, apontando perdas da qualidade do solo (DORAN & PARKIN, 1994). O desenvolvimento da agricultura há muito tempo é vinculado à degradação ambiental dos solos (PRIMAVESI, 2002; TSCHARNTKE et al., 2011) e, por conseguinte, os serviços ecossistêmicos por eles prestados (DOMINATI et al., 2010; PRADO et al., 2016). Para a produção alimentar extensas áreas de florestas ainda têm sido desmatadas, a exemplo do avanço da fronteira agrícola do Brasil.

A pecuária ocupa extensas áreas de terra no Brasil, no entanto a condução desse sistema de produção, em grande parte, ainda é feita de forma inadequada, como exemplo do pisoteio intensivo, a utilização de fogo para renovação de pasto, causando sua degradação. Somado a isso, ainda se tem a utilização de grandes extensões de pastagens nativas, que são vistas como solução para não se substituir as áreas ocupadas com outras coberturas de vegetação nativa. Essas práticas, principalmente nos ecossistemas tropicais, levaram à exaustão dos solos e à simplificação dos ambientes (TSCHARNTKE et al., 2011). Entre as ações antrópicas negativas sobre o meio ambiente, a degradação do solo constitui uma das mais preocupantes, pois afeta diretamente a vida do homem e a biodiversidade (SANTOS, 2013).

De modo contrastante as florestas naturais, bem como as restauradas, possuem importância destacada graças à capacidade natural dos vegetais de sequestrar CO₂ da atmosfera, por meio da fotossíntese, e fixá-lo sob forma de carbono na biomassa lenhosa, folhas e raízes e posteriormente com a decomposição armazenar carbono no solo (DINIZ, 2015). A acelerada degradação dos solos com agricultura no mundo e principalmente nas regiões tropicais despertaram, nas últimas décadas, a preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade da agricultura (SANCHEZ, 1976). O Brasil nesse cenário está na vanguarda de uma agricultura mundial mais sustentável, pois já possui 32,8 milhões de ha sob plantio direto (MARTINS, et al., 2018), sistema esse potencial sequestrador de C atmosférico (BAYER et al., 2006), não aduba seus 33 milhões de ha de soja com 1g de adubo nitrogenado (APROSOJA, 2016) FRANCO e BALIEIRO, 2000), além de já possuir mais de 11,5 milhões de ha sob manejo integrado (Rede ILPF, 2016), ao qual os sistemas agrofloretais se inserem como aquele de maior potencial de uso em pequenas e médias propriedades. Há ainda, os sistemas de produção denominados de sistemas agrofloretais, que, nas suas mais variadas configurações, como os silvipastoris, agrofloretais, agrosilvipastoris etc, têm conjugado produção e proteção do solo. Entretanto, estudos de mudança do carbono pelo uso da terra em sítios específicos são úteis para o entendimento da dinâmica e controles locais da ciclagem de carbono (TRUMBORE & CAMARGO, 2009).

2.2. Carbono orgânico do solo

A degradação do solo tem como uma das principais causas o mau uso do solo. Decorrente desse mal-uso, ocorre a redução da matéria orgânica e com ela, a modificação dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (JAKELAITIS et al., 2008). TRUMBORE & CAMARGO (2009) afirmam que mudanças mensuráveis nos estoques de carbono do solo que acompanham a mudança no uso e cobertura da terra ocorrem no primeiro metro da camada superior do solo, embora a presença de raízes profundas dos sistemas florestais determine um ciclo eficiente de carbono em profundidades >1 m.

Na agricultura o revolvimento do solo é uma prática de manejo para o plantio e incorporação de adubação e correção de propriedades do solo que contribui fortemente no aumento das perdas de carbono do solo para a atmosfera. A quebra de agregados, o aumento de temperatura e a presença de água nas chuvas são condições favoráveis para o ataque microbiano sobre a matéria orgânica do solo (MOS) (BAYER et al., 2000, BAYER & MIELNICZUK, 2008). Em ambientes naturais de regiões tropicais os estoques de MOS são estáveis devido ao balanço de decomposição acelerada pelos microrganismos e as altas taxas de produção de resíduos vegetais para o solo (SANCHEZ, 1976; BAYER & MIELNICZUK, 2008). Por isso, é importante a busca por sistemas de manejo que se adequem a conservação dos solos junto à produtividade das culturas, garantindo a sustentabilidade da atividade agrícola (DIAS, 2015; ROCHA et al., 2014).

O carbono estocado no solo representa o terceiro maior compartimento do elemento no planeta (JANZEN, 2004). O carbono orgânico total (COT) e a MOS são variáveis do solo que estão presentes em todas as literaturas sobre o tema, e são citados como indicadores chave sobre a qualidade do solo (MIELNICZUK, 2008). Nesse sentido, há uma necessidade de aumentar os esforços para identificação de práticas agropecuárias que elevem o acúmulo de matéria orgânica ou mesmo sua manutenção. A capacidade de estocagem de C do solo é influenciada por diferentes fatores, como: tipos de solo, dos sistemas de cultura, dos sistemas de preparo de solo

e das condições climáticas regionais, que podem favorecer ou retardar os processos de decomposição dos resíduos e de síntese e decomposição da MOS (SANCHEZ, 1976).

O solo pode ser avaliado a partir da seleção de suas propriedades, que podem ser consideradas como atributos indicadores da qualidade do solo (DORAN & PARKIN, 1994). Para ser considerado um bom indicador, estes devem ser sensíveis às mudanças no manejo, fortemente correlacionados com as funções desempenhadas pelo solo, com capacidade de elucidação dos processos ecossistêmicos, ser compreensível e útil para o agricultor e, preferencialmente, de fácil e baixo custo de mensuração (DORAN & ZEISS, 2000). A MOS pode ser considerado um bom indicador de qualidade do solo pois cumpre com diversos papéis nos processos físicos, químicos e biológicos. DORAN (1997) destaca que a MOS contribui para a estabilidade dos agregados, e da estrutura do solo, infiltração e retenção de água, resistência à erosão, atividade biológica, capacidade de troca catiônica (CTC), disponibilidade de nutrientes para as plantas, lixiviação de nutrientes, liberação de CO₂ e outros gases para a atmosfera. Segundo ROSCOE & MACHADO (2002), a MOS compreende todo o carbono orgânico presente no solo na forma de resíduos frescos ou em diversos estágios de decomposição, compostos humificados e materiais carbonizados (ex.: carvão em solos de savana) associados ou não à fração mineral; assim como a porção viva, composta por raízes e pela micro, meso e macrofauna. Entretanto na maioria das análises de MOS é excluído as frações maiores que 2 mm pela fração abaixo desse diâmetro apresentar maior sensibilidade as mudanças no solo.

A MOS é um componente do solo muito heterogêneo e na dinâmica da MOS, o carbono é encontrado na forma de diversos compostos orgânicos com ampla variação de componentes químicos (TRUMBORE & CAMARGO, 2009; URGUAGA et al., 2016). Uma maneira de estudar a MOS é justamente reduzir essa heterogeneidade procurando separar frações homogêneas quanto à sua natureza, dinâmica e função, mas ao mesmo tempo suficientemente diferentes umas das outras (CHRISTENSEN, 2000). MACHADO et al. (2014) afirma que estudos que visam caracterizar o comportamento e composição da MOS são fundamentais para o entendimento de sua natureza e elucidação dos fatores que governam sua estabilização, a fim de identificar e estabelecer práticas de manejo mais conservacionistas que contribuam com a sua preservação e promovam a sustentabilidade dos agroecossistemas.

2.3. Sistemas agroflorestais e estoques de carbono do solo

O papel dos SAFs como modelo de sistema de produção é o de conciliar a produção agrícola e florestal, em consonância com a conservação do meio ambiente, seus recursos e funções ecossistêmicas (NAIR et al., 2009; NAIR, 2011; SOUZA et al., 2012). Por essa característica os SAFs são estruturalmente e funcionalmente mais complexos quando comparados a culturais individuais ou monocultura de espécies arbóreas (NAIR et al., 2008 a, b). Os autores conceituam que os SAFs são caracterizados pelo cultivo de espécies agrícolas manejadas em consórcio com espécies arbóreas.

Diversos benefícios são gerados ao ambiente onde se estabelece um SAF, como: a fixação de N₂ atmosférico, sequestro de carbono, ciclagem de nutrientes (pela presença de raízes mais profundas), acúmulo de matéria orgânica, e manutenção da fauna do solo e da qualidade química, física e biológica (TORNQUIST et al., 1999; SOUZA et al., 2012). O potencial de mitigação dos GEEs dos SAFs (GAMA-RODRIGUES et al., 2010; 2011) baseia-se na premissa de que a maior eficiência dos sistemas integrados em captura e utilização de

recursos (nutrientes, luz e água) do que os sistemas de uma única espécie resultarão em maior sequestro líquido de carbono (NAIR et al., 2009). A partir do reconhecimento da funcionalidade dos SAFs, muitos estudos vêm sendo realizados para compreender os benefícios dos SAF para a promoção dos serviços ecossistêmicos, da sustentabilidade ambiental e social (NAIR, 1998; CASTRO et al., 2009).

Apesar do uso recente na agricultura do termo SAF, o manejo e uso de espécies arbóreas na agricultura é milenar como formas tradicionais de se produzir alimentos pelas populações originárias (NAIR, 1998; BAGGIO & MEDRADO, 2003; TOLEDO & BARRERA-BASSOLS, 2015). Os estudos científicos não podem deixar de lado o conhecimento tradicional acumulado na prática dessa atividade. Dentre as principais linhas de estudos sobre os SAF, encontram-se o sequestro de carbono, a conservação da biodiversidade e a manutenção e/ou recuperação da qualidade dos solos (JOSÉ, 2009).

Na intenção de avaliarem o potencial dos SAFs para o estoque de carbono FROUFE et al. (2011), analisaram o carbono do solo, da serapilheira, biomassa arbórea e herbácea de SAFs multiestratos em comparação com capoeiras em diferentes estágios de recuperação, sistemas agrícolas convencionais e pastagem, na região do Alto Vale do Ribeira, em São Paulo. Os autores concluíram que existe grande potencial da prática agroflorestal para o sequestro de carbono, o que deve ser acompanhado de melhorias nos tratamentos silviculturais.

Estoques de carbono na fitomassa aérea, serapilheira, e no solo e a biodiversidade de três sistemas agroflorestais foram comparados com estoques de duas áreas vegetação nativa adjacente em latossolo e gleissolo (ROCHA et al., 2014). Os valores de biomassa vegetal apresentaram média de 9 Mg ha⁻¹, 4,8 Mg ha⁻¹ para serapilheira. Em todas as áreas o solo foi o compartimento mais expressivo com mais de 90% do conteúdo de C. O total dos compartimentos variaram em 106 e 197 Mg ha⁻¹. Os autores afirmaram que sistemas agroflorestais bem manejados se assemelham à vegetação nativa em estoque de carbono e conservação da biodiversidade dos recursos naturais.

As quantidades de carbono orgânico do solo (COS) em diferentes profundidades até 1 m entre sete diferentes usos do solo, incluindo pastagem, agroflorestas com 20 anos, SAFs em substituição de mata nativa e pastagem e, mata nativa foram estudadas por MONROE et al. (2016). Os autores observaram uma maior quantidade de COS nos SAFs mais novos (200-210 Mg ha⁻¹) e na pastagem (210 Mg ha⁻¹) e destes, aproximadamente 27% foram observadas na profundidade de 0-20 cm. Já os SAFs mais antigos (175-180 Mg ha⁻¹) não diferiram significativamente da mata nativa (185 Mg ha⁻¹). Nesse estudo não foi avaliado como se comportam as diferentes frações do carbono no solo, para comparar os sistemas em relação à dinâmica da MOS.

É importante ressaltar que a COS está dividida em diversos compartimentos, alguns mais lábeis, ou seja, mais suscetíveis a decomposição e outros mais recalcitrantes, estes menos disponíveis ao ataque microbiano (CHRISTENSEN, 2000; ROSCOE e MACHADO, 2002). BAYER & MIELNICZUK (1999) afirmam que o ataque microbiano sobre as formas de MOS está condicionada às características do ambiente como a presença de água e as condições em que a MOS se encontram organizadas. Assim, as frações menos protegidas, ou com menor grau de interação com a fração mineral do solo possuem uma degradação mais acelerada. Assim sendo, é importante que sistemas sustentáveis sejam capazes de estocar C e em especial em compartimentos mais recalcitrantes, ou seja, resistentes a degradação.

2.4. Fracionamento físico da matéria orgânica do solo

O fracionamento físico tem sido a metodologia mais indicada para ser relacionada com as funções e estrutura da MOS, além de ser um método menos destrutivo (CHRISTENSEN, 2000). Existe uma grande variação dos métodos de fracionamento físico que pode ser realizado com base na densidade ou na granulometria ou uma combinação de ambos (ROSCOE & MACHADO, 2002). O método densimétrico se utiliza da densidade das partículas para realizar o fracionamento enquanto no método granulométrico o tamanho da partícula influencia a separação das frações.

O fracionamento densimétrico separa as frações da MO que se associam ao componente mineral ($> 2,0 \text{ g cm}^3$) durante a humificação, chamada de fração pesada, e a fração leve se refere ao componente orgânico que ainda não sofreu o processo de humificação e possui valores de densidade menores que $1,5 \text{ g cm}^3$. Esse método pode ainda separar a fração leve que está presa dentro dos agregados do solo, a fração leve oclusa e a fração leve livre que se encontra na superfície do solo ou entre os agregados (ROSCOE & MACHADO, 2002).

Já o fracionamento granulométrico baseia-se no tamanho de agregados e na diferença da composição mineralógica das classes texturais das partículas minerais do solo (areia, silte e argila) que se associam diferentemente à MO, sendo a separação realizada por peneiramento e por sedimentação, podendo ser usada também centrifugação (ROSCOE & MACHADO, 2002). A baixa densidade de carga superficial e reduzida superfície específica da areia reflete em pouco ou nenhum material orgânico fortemente ligado ao mineral e a matéria orgânica associada a essa fração é a não-complexada conhecida pela sigla MONC (ROSCOE & MACHADO, 2002). Ao contrário, as classes de silte e argila tem alta densidade de cargas na superfície e grande superfície específica e, com isso, a matéria orgânica realiza ligações de complexação formando os complexos organominerais (COM) (ROSCOE & MACHADO, 2002). Outras denominações são relacionadas a MONC e COM como matéria orgânica particulada (MO_p) e Matéria orgânica associada aos minerais (MO_{am}), respectivamente (ROSCOE & MACHADO, 2002).

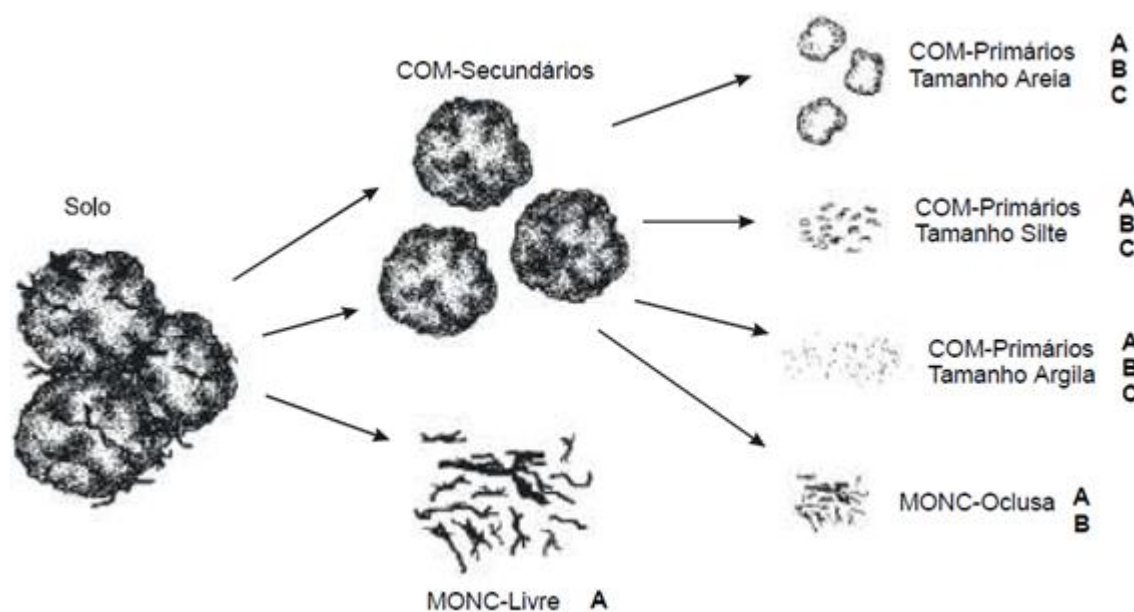
LOSS et al. (2009) utilizaram o fracionamento físico granulométrico para entender a dinâmica da MOS em cinco sistemas de manejo orgânico, são eles: plantio convencional, plantio direto, consórcio maracujá/*Desmodium* sp., figo e gramínea e sistema agroflorestal. Foram avaliadas a fração do carbono orgânico particulado (CO_p) e a fração associada aos minerais (CO_{am}) além do carbono orgânico total (COT). As avaliações foram feitas no verão e no inverno e foi observado maior CO_p e COT no verão para o figo e o plantio direto. Os autores concluíram que o CO_p se mostrou mais eficiente que o COT para explicar as variações do carbono nos sistemas de manejo no verão.

Em outro estudo, LOSS et al. (2014), observaram maiores conteúdos de CO_p na profundidade de 10-20 cm do solo em sistema silvipastoril quando comparado com pastagem e lavoura. LIMA et al. (2016) concluíram que maiores teores de CO_p foram influenciados pela incorporação de palhada em experimento comparando uso de diferentes plantas de cobertura em sistemas de plantio direto, plantio reduzido e convencional na produção de hortaliças. Os autores observaram também uma relação positiva entre a fração CO_{am} com a COT que destaca a importância de mecanismos de estabilização da matéria orgânica no incremento dos teores de COT no solo. SILVA et al. (2017), em um SAF na Mata Atlântica no Rio de Janeiro, encontram teores de CO_{am} de $6,21 \text{ g kg}^{-1}$ na camada de 20-40 cm a $15,68 \text{ g kg}^{-1}$ na camada 0-10 cm enquanto que os valores foram menores em CO_p $3,33 \text{ g kg}^{-1}$ e $5,8$ nas respectivas camadas. Os autores concluem que a maior acumulação de CO_{am} é devido a ciclagem mais lenta e maior

interação com a fração mineral do solo. Em SAF na Mata Atlântica de Sergipe, GUIMARÃES et al. (2012) encontraram na fração complexada teores de C de 9,9 g kg⁻¹ e 6,5 g kg⁻¹ na camada de 0-10 cm e 10-20 cm, enquanto que na fração particulada os valores para as respectivas camadas foram de 4,0 g kg⁻¹ e 2,0 g kg⁻¹.

2.5. Mecanismos de estabilização do C no solo

Segundo CHRISTENSEN (2001) são três os mecanismos de proteção da mineralização da MOS: a recalcitrância intrínseca das moléculas orgânicas, a oclusão dentro de agregados do solo e a ligação/complexação com a matriz mineral. A recalcitrância intrínseca da molécula a ser decomposta é um mecanismo de proteção que atua em todos os reservatórios da MOS no solo, independente da sua localização na matriz do solo e sua ligação/complexação com as partículas minerais (ROSCOE et al., 2006). Já sobre a proteção dentro dos agregados do solo ocorre devido o interior destes restringirem a difusão de água, ar e nutrientes dificultando o ataque de microrganismos (COLLINS et al., 1997). No último mecanismo de proteção a adsorção e ligações diversas na superfície das argilas tornam os resíduos orgânicos mais resistentes ao ataque microbiano (CHRISTENSEN, 2001). A Figura 1 apresenta um esquema de compartimentação da matéria orgânica no solo a partir do arranjo espacial das partículas orgânicas e minerais.



Fonte: Roscoe (2002a), baseado em Christensen (1996a, b, 2000).

Figura 1. Arranjo espacial de partículas minerais e orgânicas do solo. COM - complexos organo-minerais; MONC - matéria orgânica não complexada. A, recalcitrância; B, oclusão; e C, complexação/ligação com as partículas minerais.

Figure 1. Spatial arrangement of mineral and organic soil particles. COM - organo-minerals complexes; MONC - uncomplexed organic matter. A, recalcitrancy; B, occlusion; and C, complexation/bonding with mineral particles.

KIRKBY et al. (2013) confirmaram a hipótese que na fração fina do carbono (mais estável), o sequestro de C a partir da maior humificação de materiais ricos em C poderia ser aumentado com a adição de nitrogênio, fósforo e enxofre. Os autores confirmam um conceito

conhecido como *priming effect*, que de forma breve é o aumento da mineralização da MOS antiga do solo quando da adição e humificação de MOS nova. O *priming effect* pode ser positivo quando a mineralização da MOS antiga é maior que a humificação da nova promovendo diminuição do C do solo e negativa quando a humificação da MOS nova é maior que a mineralização da MOS antiga aumentando assim, o sequestro de C no solo.

KIRKBY et al. (2014) observam o *priming effect* negativo no experimento com adição de palhada de trigo, que é um resíduo pobre em nutrientes como nitrogênio, fósforo e enxofre, com a adição de nutrição mineral desses elementos junto da palhada. Eles possivelmente explicaram com isso que baixos níveis de sequestro de C frequentemente observados em experimentos de longa duração de agricultura conservacionista devido a manutenção de resíduos com baixos níveis de nutrientes. DENEFF et al. (2007) utilizaram os dois tipos de fracionamento físico e estudou a estabilização do carbono em microagregados oclusos em macroagregados (Mm) e em áreas de plantio direto, plantio convencional e mata nativa de sítios degradados. Em seus resultados pôde-se observar um teor mais alto de C do Mm na fração areia em mata nativa e plantio direto comparado com plantio convencional. Os autores concluíram que nos solos tropicais degradados a fração Mm-C é mais responsiva às mudanças de manejo do que o COT e representa uma fração diagnóstica para as variações no C do solo assim como as potenciais mudanças totais no uso da terra.

2.6. Diagnóstico rápido da estrutura do solo

O Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo, conhecido por DRES, é uma ferramenta recente de avaliação visual de características físicas do solo. O DRES foi desenvolvido pela Embrapa Solos e a Universidade Estadual de Londrina e lançado em 2017. O Método foi concebido a partir de estudos realizados na grande região de produção de grãos do Brasil, principalmente em áreas sob sistema de plantio direto. O desenvolvimento da metodologia considerou procedimentos adotados em outras técnicas de análise como o VESS (GUIMARÃES et al., 2011) e o Método de Perfil Culturas (TAVARES FILHO et al., 1999).

A ferramenta foi apresentada com objetivo de ser uma nova metodologia de avaliação do solo que seja viável, rápida e sensível às alterações induzidas pelo manejo em escala espacial e temporal, tanto para o meio científico quanto para a qualificação da gestão do solo em propriedades rurais (RALISCH et al., 2017). O diagnóstico se baseia na avaliação da estrutura do solo, característica essencial para processos biológicos, físicos e químicos do solo que estão relacionados às funções ecossistêmicas promovidas pelo solo (MUELLER et al., 2009). Distinto do VESS, o DRES possui além das evidências de compactação observados, considera também, outros efeitos dos processos de degradação, como o predomínio de estruturas desagregadas, associadas à compactação e à erosão, bem como as evidências de recuperação da estrutura do solo. Outros conceitos foram fundamentados nos parâmetros de qualidade estrutural obtidos a partir de ampla gama de avaliações pelo método do Perfil Cultural.

De rápida execução pois realiza pequena intervenção na área com abertura de minitrincheira para avaliar os 25 cm superficiais do solo, a mais afetada pelo manejo. O DRES proporciona adequada compreensão da qualidade estrutural do solo, a interpretação da relação entre o manejo adotado e a resposta obtida no campo, e os resultados comparáveis mesmo em diferentes situações de campo analisadas. Nenhum outro estudo utilizando o DRES foi observado na avaliação de SAFs.

3. OBJETIVOS

2.1. Geral:

Avaliar o potencial de SAFs dos municípios de Casimiro de Abreu e Silva Jardim, em estocar carbono e manter ou melhorar a qualidade estrutural do solo, comparativamente aos usos predominantes na região (pastagem e agricultura) bem como os mecanismos de estabilização desse carbono no solo.

2.2. Específicos:

- Quantificar os estoques do carbono (C) do solo em áreas sob SAF, pastagem, agricultura e mata nativa;
- Determinar os teores de C, nitrogênio (N) das frações particulada e organomineral de amostras de solo da camada superficial desses usos;
- Avaliar a qualidade estrutural do solo nos usos da terra utilizando o DRES;
- Correlacionar os estoques com os índices obtidos pelo DRES (diagnóstico rápido da estrutura do solo);
- Recomendar o(s) uso(s) do solo que possua(m) maior potencial de estocar C e de melhor qualidade física, como provedor de serviços ambientais para os municípios de Casimiro de Abreu e Silva Jardim, RJ.

4. CAPÍTULO I

**CARBONO, NITROGÊNIO E QUALIDADE FÍSICA DE SOLOS SOB
SISTEMAS AGROFLORESTAIS, PASTAGENS E AGRÍCOLAS, NO
BIOMA MATA ATLÂNTICA**

RESUMO

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são exemplos de usos da terra que conjugam conservação e produção, apresentando serviços ecossistêmicos em benefício ao meio ambiente. O Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES) é uma ferramenta de avaliação visual de características físicas do solo com intenções de ser viável, rápida e sensível às alterações induzidas pelo manejo do solo. O objetivo desse capítulo foi comparar SAFs aos usos da terra predominante na região de Casimiro de Abreu e Silva Jardim com base nos teores e estoques de carbono e nitrogênio do solo e na qualidade física do solo. O estudo foi realizado na zona de amortecimento da Reserva Biológica Poço das Antas, conduzido em propriedades rurais contendo áreas de manejo em morrotes somando três áreas dos usos: SAF, agricultura convencional, pastagem e fragmento florestal. Foram coletados 3 pontos em cada área totalizando 9 repetições por tratamento. As amostras foram obtidas de 0-5, 5-10, 10-20 e, 20-40 cm de profundidade do solo. Foi calculado densidade do solo, realizadas análises químicas e granulométricas e dos teores de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT) e por fim calculado os estoques de C e N. O DRES foi obtido por meio de um torrão com 25 cm de profundidade e obtidos índices de qualidade do solo (IQES), além disso foi determinada a proliferação de raízes e determinada a cobertura do solo. Os fragmentos florestais obtiveram os maiores teores de C ($14,55 \text{ g kg}^{-1}$) e N ($1,86 \text{ g kg}^{-1}$) e se diferenciaram mais da agricultura ($10,47 \text{ g kg}^{-1}$ de C e $1,22 \text{ g kg}^{-1}$ de N). O SAF ($13,02 \text{ g kg}^{-1}$ de C e $1,50 \text{ g kg}^{-1}$ de N) foram os resultados mais próximo do fragmento florestal, mas não se diferenciaram da pastagem ($12,2 \text{ g kg}^{-1}$ de C e $1,31 \text{ g kg}^{-1}$ de N) e agricultura. Os estoques do SAF ($59,70 \text{ Mg ha}^{-1}$ de C e $5,10 \text{ Mg ha}^{-1}$ de N) foram maiores que os de agricultura ($44,24 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $5,10 \text{ Mg ha}^{-1}$). O DRES resultou em índices de qualidade do solo que conseguiram diferenciar os diferentes usos do solo e tiveram boa correlação com os estoques de C e N. O fragmento florestal apresentou a melhor qualidade física do solo (5,22), seguida pelo SAF (4,93), pastagem (3,80) e, agricultura (2,55). Os resultados apontam para maior qualidade do uso do solo em sistemas com maior biodiversidade e com práticas que diminuam o turnover de agregados. O DRES pode ser indicado como uma ferramenta de fácil acesso para avaliação da qualidade do solo na prática da assistência técnica e extensão rural além da própria utilização pelos agricultores e proprietários rurais.

Palavras Chave: Matéria orgânica do solo, manejo do solo, agricultura familiar, DRES.

ABSTRACT

Agroforestry Systems (AFS) are examples of land use systems that combine conservation and production, presenting ecosystem services for the benefit of the environment. The rapid diagnosis of soil structure (DRES) is a tool for visual evaluation of soil physical characteristics with intentions to be viable, fast and sensitive to changes induced by soil management. The objective of this chapter was to compare AFS to the predominant land use systems in the Casimiro de Abreu e Silva Jardim region based on soil carbon and nitrogen stocks and soil physical quality. The study was carried out in the damping zone of the Poço das Antas Biological Reserve, conducted in rural properties containing areas of management in hillock containing three areas of uses: AFS, conventional agriculture, pasture and fragments Forest. Three points were collected in each area totaling 9 replications per treatment. The samples were obtained from 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm of soil depth. Soil bulk density was calculated, chemical and granulometric analyses and organic carbon (CO) and total nitrogen (NT) contents and finally calculated the stocks of C and N. DRES was obtained by means of a 25 cm deep lump and obtained indexes of soil quality (IQES), the root proliferation was also determined and soil cover was determined. The forest fragments obtained the highest contents of C (14.55 g kg^{-1}) and N (1.86 g kg^{-1}) and differed more from the agriculture (10.47 g kg^{-1} of C and 1.22 g kg^{-1} of N). The AFS (13.02 g kg^{-1} of C and 1.50 g kg^{-1} of N) were the results closest to the forest fragment but did not differ from the pasture (12.2 g kg^{-1} of C and 1.31 g kg^{-1} of N) and agriculture. The stocks of AFS (59.70 Mg ha^{-1} of C and 5.10 Mg ha^{-1} of N) were higher than those of agriculture (44.24 Mg ha^{-1} and 5.10 Mg ha^{-1}). The DRES resulted in soil quality indexes that were able to differentiate the different soil uses and had good correlation with the stocks of C and N. The forest fragment presented the best soil physical quality (5.22), followed by AFS (4.93), Pasture (3.80) and agriculture (2.55). The results point to higher quality of soil use in systems with greater biodiversity and practices that reduce aggregate turnover. DRES can be indicated as an easy-to-access tool for assessing soil quality in the practice of technical assistance and rural extension, in addition to its own use by farmers and rural owners.

Keywords: soil organic matter, soil management, family farming, DRES.

1. INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica é um dos biomas mais ricos em diversidade de espécies e ameaçadas do planeta, abrangendo originalmente 1.315.460 km² de extensão, distribuídos em pequena parte do Uruguai e Argentina e a maior fração no Brasil (OLIVEIRA-FILHO & FONTES, 2000). Atualmente, pela Lei da Mata Atlântica no Brasil (LEI DA MATA ATLÂNTICA 11.428/2006) compreende 17 estados brasileiros e apresenta apenas 12,4%, equivalente a 16,2 milhões de hectares de sua cobertura originária (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2018), bem como abriga mais de 70% da população Brasileira (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2018).

A Mata Atlântica é mundialmente reconhecida como um *hotspot* de biodiversidade (MYERS et al. 2000; MITTERMEIER et al., 2005; LAURANCE 2009; RIBEIRO et al. 2011) devido ao histórico processo conversão da floresta em pastagens, monocultivos de cana de açúcar, café, eucaliptos e pinos (RIBEIRO et al., 2011) por meio do desmatamento e predação da biodiversidade. A modificação da paisagem pelo homem resultou no que podemos chamar de “agromosaicos” (TABARELLI et al., 2010). Ou seja, de uma paisagem anteriormente dominada por florestas surge uma paisagem em que pequenos fragmentos da Mata Atlântica se encontram imersos numa matriz agrícola e pecuária com pouca permeabilidade gênica e sustentabilidade (RIBEIRO et al., 2011). Traçar alternativas que possam diminuir conflitos de uso da terra, conjugando conservação do solo e da biodiversidade são prementes para o desenvolvimento de políticas agrícolas e de estímulo ao agroturismo local, em especial nos municípios de Casimiro de Abreu e Silva Jardim. Nessa região, existem três unidades de conservação, APA da Bacia do Rio São João – Mico Leão Dourado; REBIO Poço das Antas e REBIO União, que juntas possuem 161.672 ha de remanescentes da Mata Atlântica.

O bioma Mata Atlântica pode estocar quantidades significativas de C em sua vegetação e seus solos (TRUMBORE et al., 1995; TRUMBORE & CAMARGO, 2009; VILLELA et al., 2012; VIEIRA et al., 2011). LIMA (2010), corroboram essa afirmação, quando relata valores de estoque na biomassa acima do solo que variam de 69 a 199 Mg ha⁻¹ em florestas secundárias da Mata Atlântica. Abaixo da superfície a floresta Atlântica também apresenta grandes valores de C. VIEIRA et al. (2011) e VILLELA et al. (2012), observaram estoques de C até 1 m de profundidade do solo de 187 a 309 Mg ha⁻¹ em uma elevação altitudinal de 100 m a 1.100 m em floresta atlântica em Ubatuba-SP.

Apesar de seus benefícios ao meio ambiente, a Mata Atlântica sofre, desde a colonização do Brasil, com a exploração antrópica de seus recursos naturais, principalmente devido a demanda de energia e alimentos. A conversão das florestas em usos agropecuários tem causado graves impactos negativos ao ambiente, como a perda da qualidade dos solos (DORAN & PARKIN, 1994; PRIMAVESI, 2002; TSCHARNTKE et al., 2011) bem como os serviços ecossistêmicos prestados por ele (DOMINATI et al., 2010; PRADO et al., 2016). VEZZANI & MIELNICZUK (2009) afirmam que práticas conservacionistas de manejo são utilizadas o solo aumenta da matéria orgânica do solo (MOS) e contribui para a retirada do CO₂ da atmosfera.

Outras formas de uso menos impactantes ao solo tem sido objeto de estudos e de manejo. Os sistemas agroflorestais (SAFs) são exemplos de usos da terra que conjugam conservação e produção e, assim, são recomendados para bordas de unidades de conservação (DONATO & LIMA, 2013). Diversos autores apresentam os serviços ecossistêmicos que os SAFs promovem em benefício ao meio ambiente como o sequestro, estocagem de C e mitigação das mudanças

climáticas (TORNQUIST et al., 1999; SOUZA et al., 2012; NAIR et al., 2009; JOSE, 2009; NAIR, 2011).

ALBRECHT & KANDJI (2003) e MONTAGNINI & NAIR (2004) afirmam que os SAFs com espécies sombreadas resultam em benefícios para os agricultores tanto pelo ponto de vista econômico quanto ambiental, pois possuem potencial de sequestrar carbono no solo, comparáveis às florestas naturais. NAIR (2011) estima que SAFs podem estocar de 30 a 300 Mg ha⁻¹ até 1 m de profundidade do solo. ARAÚJO et al. (2013) observou estoques de C em vários sítios de sistemas cacau cabruca e de consórcios de cacau com espécies arbóreas (seringueira ou eritrina) na Bahia de que variaram de 720 a mais de 2.000 Mg ha⁻¹ em perfis de aproximadamente 2 metros de profundidade. Esses estoques se equiparam aos observados por outros estudos em áreas de floresta nativa e maiores que usos como pastagens. Em SAFs com café sombreado em Alegre - ES encontrou estoques de C de 104 e de 125 Mg ha⁻¹ para florestas nativas (THOMAZINI et al., 2015).

O Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo, conhecido por DRES, é uma ferramenta recente de avaliação visual de características físicas do solo. O DRES foi desenvolvido pela Embrapa Solos e a Universidade Estadual de Londrina e lançado em 2017. O Método foi concebido a partir de estudos realizados na grande região de produção de grãos do Brasil, principalmente em áreas sob sistema de plantio direto. Esta ferramenta foi apresentada com objetivo de ser uma nova metodologia de avaliação do solo que seja viável, rápida e sensível às alterações induzidas pelo manejo, tanto para o meio científico quanto para a qualificação da gestão do solo em propriedades rurais (RALISCH et al., 2017). O diagnóstico se baseia na avaliação da estrutura do solo, característica essencial para processos biológicos, físicos e químicos do solo que estão relacionados às funções ecossistêmicas promovidas pelo solo (MUELLER et al., 2009). O DRES proporciona adequada compreensão da qualidade estrutural do solo, a interpretação da relação entre o manejo adotado e a resposta obtida no campo, e os resultados comparáveis mesmo em diferentes situações de campo analisadas.

Esse capítulo tem como objetivo comparar SAFs aos usos da terra predominante na região de Casimiro de Abreu e Silva Jardim com base nos teores e estoques de carbono e nitrogênio do solo e na qualidade física do solo.

2. MATERIALE MÉTODOS

2.1. Caracterização das áreas de estudo

O estudo foi realizado na zona de amortecimento da Reserva Biológica Poço das Antas e inserido na Área de Proteção Ambiental da Bacia do Rio São João/Mico Leão Dourado (Figura 2). Localizado a aproximadamente 100 Km do centro do município do Rio de Janeiro, situada na microrregião da bacia do Rio São João, baixadas litorâneas do Estado do Rio de Janeiro, nos municípios de Silva Jardim e Casimiro de Abreu, entre os paralelos 22°30' e 22°33' S e os meridianos de 42°15' e 42°19' W, em área coberta originalmente por trechos de Floresta Ombrófila Densa Aluvial e Floresta Ombrófila Densa Submontana, de 0 a 250 m de altitude (VELOSO et al., 1991). Segundo o Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, no período 2016/2017, a cobertura de Mata Atlântica abrangia 31% do território de Casimiro de Abreu, sendo 14.059 ha de mata, 90 ha de mangue e 51 ha de restinga e para o município de Silva Jardim 32.055 ha de mata, 364 ha de várzea, o equivalente a 34,58% da cobertura original de Mata Atlântica (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA & INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE, 2018).



Figura 2. Mapa da região de estudo indicando os limites municipais (marrom), APA Bacia do Rio São João/Mico Leão Dourado (vermelho), REBio Poço das Antas (preto) e, REBio União (azul).
Figure 2. Map of the region of study indicating the municipal boundaries (Brown), APA São João River basin/Golden Lion Tamarin (red), REBio Poço das Antas (Black) and, REBio União (blue).

O clima local é do tipo AS, segundo a classificação de Köppen. Clima tropical chuvoso com inverno seco possui temperatura média de 23,2° C com baixa amplitude entre os meses

mais quentes e mais frios, o verão chove mais que o inverno. A precipitação média varia entre 1500 e 2000 mm para região (PRIMO & VOLCKER, 2003; CARVALHO et al., 2015), de janeiro a março o período mais chuvoso. A região de estudo pertence a unidade geomorfológica Colinas e Maciços Costeiros, caracterizada por terrenos colinosos de baixa amplitude de relevo compreendidos entre as planícies costeiras e baixadas fluvio-marinhas e a escarpa da Serra do Mar (DANTAS, 2001).

A retificação do Rio São João, associada a obras de drenagem, moldaram o cenário para a ocupação socioeconômica que sucedeu a essas intervenções (AMÂNCIO, 2014). A região Serramar do estado do Rio de Janeiro é uma região desnaturalizada sob o viés da geografia física em que sua paisagem sofreu modificações no ambiente natural de forma a romper com a relação integrada homem-natureza. As referidas ações de desnaturalização, paralelamente à construção da Ponte Rio-Niterói, intensificaram o interesse da especulação imobiliária sobre a região, com a instalação de grileiros de terras e o fortalecimento de latifundiários, cuja parcial retomada de terras proporcionou a inserção de Projetos de Assentamento de Reforma Agrária (São José da Boa Morte, Aldeia Velha, Imbuuro, Cambucaes, Sebastião Lan, Visconde) (AMÂNCIO, 2014).

A fragmentação da Mata Atlântica tem sido ocasionada pela exploração dos recursos naturais e pela ocupação do território desde a colonização europeia. A perda dos ecossistemas de florestal, restinga, mangue e o ambiente fluvial e marinho da Mata Atlântica vêm sendo afetada pela ocupação desordenada do solo, poluição e exploração predatória dos recursos (AMLD). Com a fragmentação diversas espécies de flora e fauna possuem algum tipo de ameaça de extinção. Uma espécie símbolo dessa predação e que está criticamente ameaçada de extinção é o Mico-leão-dourado (*Leontopithecus rosalia*). Espécie endêmica da Mata Atlântica de baixada costeira do Rio de Janeiro resultado espécie que chegou a uma população total de apenas 200 indivíduos selvagens no mundo. Os fragmentos de remanescentes florestais, ocasionados por desmatamento, a expansão agropecuária e a urbanização, confinavam espécie nessas ilhas que promoviam o isolamento genético, deixando esta e outras espécies mais vulneráveis à extinção.

Um esforço coletivo internacional e protagonizado pela Associação Mico Leão Dourado - AMLD vem atuando para a proteção dessa espécie e de outras endêmicas do bioma Mata Atlântica na região do entorno da Reserva Biológica Poço das Antas em Silva Jardim e da Área de Proteção Ambiental da Bacia do Rio São João/Mico Leão Dourado. A AMLD, criada em 1992, tem atuado através de ações em 10 linhas estratégicas prioritárias: manejo da população áreas protegidas, agricultura familiar, restauração florestal, educação ambiental, infraestruturas lineares, planejamento territorial, comunicação e marketing, turismo sustentável e fortalecimento institucional.

A relação com a agricultura familiar da região, principalmente de assentamentos rurais, tem contribuído de forma significativa para a efetividade das ações atuando na sensibilização pela educação ambiental e no envolvimento econômico dos agricultores no mercado da restauração florestal. Através do incentivo na criação de viveiros familiares e da implantação de Sistemas Agroflorestais na região, a associação e outros parceiros têm obtido bastante sucesso ao longo dos anos na ligação dos fragmentos florestais através de corredores ecológicos por ações de restauração florestal bem como dos SAFs. Além do benefício ecológico para a troca genética e abrigo para a fauna e flora endêmica, as ações também têm garantido serviços ecológicos para a população, como, por exemplo, o provimento de água potável.

2.2. Usos da terra e sistemas amostrados

O trabalho foi conduzido em propriedades rurais de pequenos produtores rurais. A paisagem dos usos do solo foram os pequenos morrotes, também conhecidos como “meias-laranjas”, localizados entre as baixadas litorâneas da costa do Rio de Janeiro e as montanhas da Serra do Mar. Foram escolhidas três áreas com sistemas de uso do solo (UT) em sistema agroflorestal (SAF), agricultura convencional, pastagem e fragmentos florestais adjacentes, como áreas de comparação (Figura 3). Os solos predominantes são os Latossolos Amarelo distrófico (PRIMO & VOLCKER, 2003; CARVALHO et al., 2015) ocorrendo também os Latossolos Vermelho-amarelos e Argissolos Amarelos (LUMBRERAS et al., 2001).

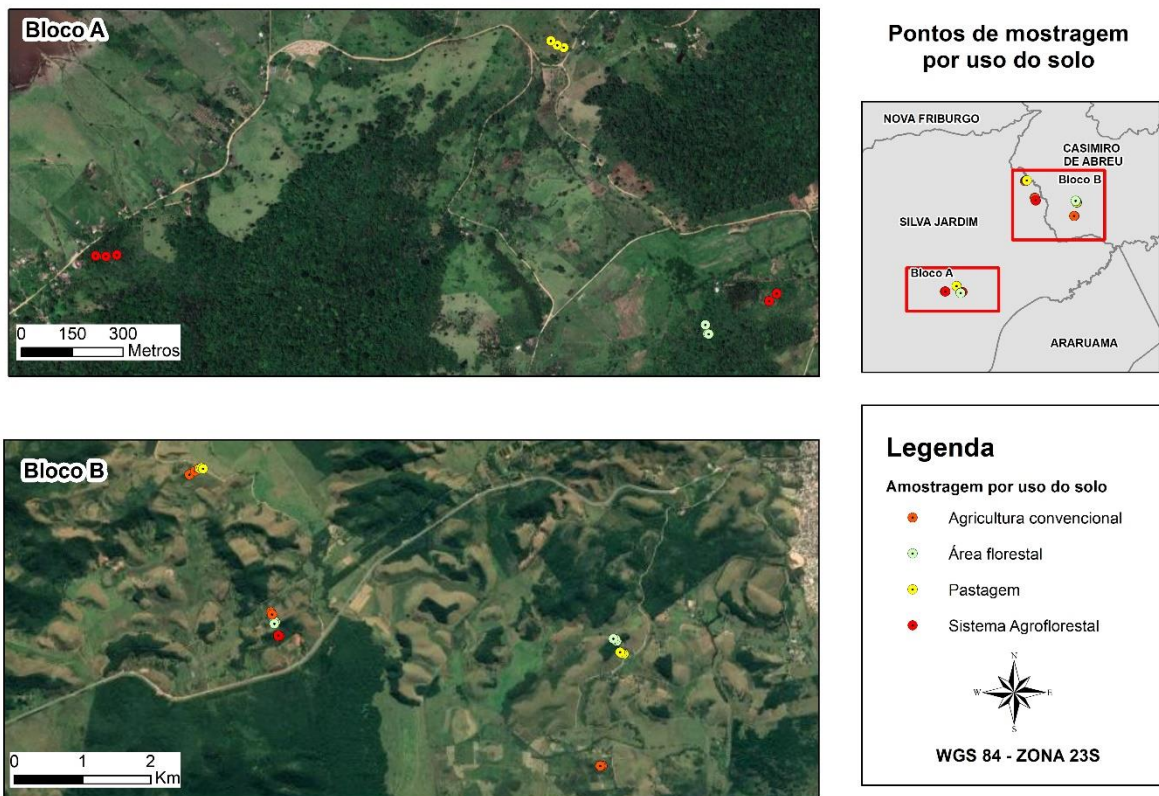


Figura 3. Mapa indicativo da localização dos pontos amostrados e de seus respectivos Usos do Solo.
Figure 3. Indicative map of the location of the sampled points and their respective soil uses.

Os SAFs amostrados tinham 6, 13 e 18 anos de idade e 0,5 ha, 0,7 ha, e 1,7 ha, respectivamente (Figura 4). Anteriormente os usos predominavam pastagem abandonada com a presença de poucas árvores. Na implantação, as áreas foram roçadas para abertura dos berços de plantio com correção de calcário e adubação mineral ou orgânica nos berços. As áreas são caracterizadas pela presença de alta diversidade de espécies de madeiras de alta densidade com espaçamento 5 m x 5 m e espécies de madeira de baixa densidade em 5 m x 1 m como algumas já saíram do sistema, ocorrendo culturas perenes (como café, cupuaçu e cacau) e frutíferas e palmeiras (juçara, pupunha, imperial), com manejo agroecológico, e mão-de-obra familiar ou em sistema de mutirão pela organização dos pequenos agricultores locais. Após anos de manejo o desenho inicial foi se desestruturando e um espaçamento aleatório conformou a espacialização das espécies atualmente.



Figura 4. Área com uso da terra em Sistema Agroflorestal.
Figure 4. Land use area in agroforestry system.

Os UTs de agricultura são duas áreas de cultivo de laranja em monocultivo de 4 anos de idade e 0,2 ha e 0,5 há (Figura 5). As áreas anteriormente eram apenas pastos sem manejo e na área menor em 2006 foi cultivado mandioca sem correção e adubação do solo. Na implantação a área recebeu aplicação de herbicida e roçada, nos berços de plantio ocorreu correção com aplicação de calcário com 150 g e 600 g em cada berço, respectivamente e na áreas maior foi adubado com 600 g/berço de adubo mineral NPK 4-14-8. A terceira área amostral foi um plantio de mandioca de 1,2 ha e 10 meses de idade. A área teve mecanização com revolvimento do solo com uso de herbicida para dessecar o pasto anterior a mudança do uso. Após 4 meses o agricultor manejou as plantas espontâneas roçando-as com auxílio da foice. No preparo da área não foi realizado correção de acidez do solo nem adubação.



Figura 5. Área com uso da terra em agricultura.
Figure 5. Land use area in agriculture.

As pastagens, todas com alto grau de conservação evidenciado pela qualidade visual do capim e da baixa presença de espécies invasoras, ocupavam áreas de 0,5 ha, 1,3 ha e 1,5 ha (Figura 6). As idades não foram confirmadas pelos produtores, mas confirmaram que ocorre o uso de pastagem há vários anos ultrapassando mais de 15 anos. Os dois primeiros pastos apresentavam baixa densidade de gado de corte e leite e o terceiro apenas com dois equínos. A espécie *Brachiaria* sp era a qualidade de pasto utilizada. Os agricultores não sabiam informar o manejo do solo das áreas anterior há 10 anos passados, aproximadamente quando adquiriram as propriedades. Durante esse período não foi realizado nenhuma correção nem aporte de adubação.



Figura 6. Área com uso da terra em Pastagem.
Figure 6. Land use area on pasture.

As florestas ocorriam em áreas de 2 ha, 6 ha e 10 ha sem indícios recentes de intervenção (Figura 7). As bordas dos fragmentos apresentavam bastantes indivíduos de lianas e cipós. O interior do fragmento a movimentação pela equipe era facilitado devido baixa ocorrência dessas espécies acima referidas e maior presença de espécies heliófilas. Essas características demonstram o alto grau de conservação dos fragmentos florestais, com poucos sinais de degradação.



Figura 7. Área com cobertura do solo em fragmento florestal de Mata Atlântica.
Figure 7. Area with soil cover in forest fragment of Atlantic Forest.

Os solos da região amostrada são classificados como Latossolos Amarelos distróficos, Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos e Argissolos Amarelos distróficos (LUMBRERAS et al., 2001). Na Tabela 1 é apresentado a granulometria e atributos químicos médios dos sistemas de uso do solo com erro padrão entre parênteses.

Tabela 1 – Valores médios e (erros padrão) de atributos físicos e químicos dos solos nas classes até 40 cm de profundidade sob diferentes usos.

Table 1 - Average values (standard error) of physical and chemical attributes of soils in classes up to 40 cm depth contrasting uses.

UT	pH	Areia		Silte	Argila	Relação silte/argila	C	N	Ca ² Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S ¹	Al ³⁺	H ⁺	T ²	V ³	m ⁴	P _{assim.}	S-SO ₄
	água	grossa	fina																
0 - 5 cm																			
Agricultura	5,1 (0,19)	386 (28)	70 (5)	162 (6)	382 (30)	0,45 (0,03)	15,6 (1,0)	1,64 (0,09)	2,00 (0,43)	0,15 (0,02)	0,03 (0,00)	2,18 (0,43)	0,51 (0,14)	4,99 (0,30)	7,68 (0,33)	28,22 (5,60)	31,11 (11,61)	4,44 (0,58)	9,75 (1,97)
Pastagem	5,2 (0,09)	331 (51)	79 (9)	218 (18)	373 (44)	0,59 (0,05)	23,9 (1,6)	2,27 (0,14)	2,51 (0,34)	0,30 (0,02)	0,06 (0,00)	2,88 (0,33)	0,38 (0,13)	6,66 (0,49)	9,91 (0,67)	28,44 (3,02)	15,22 (9,37)	3,22 (0,53)	28,12 (8,24)
SAF	5,3 (0,07)	291 (24)	93 (6)	258 (24)	358 (17)	0,74 (0,07)	21,6 (2,8)	2,28 (0,24)	5,18 (0,39)	0,18 (0,01)	0,06 (0,00)	5,39 (0,38)	0,23 (0,13)	5,93 (0,34)	11,56 (0,43)	43,22 (3,55)	8,56 (6,26)	4,67 (0,39)	16,30 (4,97)
Floresta	4,8 (0,12)	230 (38)	54 (7)	244 (19)	473 (29)	0,52 (0,02)	29,4 (2,0)	3,43 (0,20)	4,14 (0,46)	0,23 (0,02)	0,06 (0,01)	4,43 (0,48)	0,79 (0,25)	8,64 (0,87)	13,87 (0,86)	29,11 (4,28)	23,67 (11,20)	7,22 (0,61)	40,90 (8,80)
5 - 10 cm																			
Agricultura	4,8 (0,10)	363 (35)	79 (6)	141 (19)	418 (26)	0,36 (0,03)	13,0 (0,9)	1,49 (0,09)	1,34 (0,20)	0,09 (0,01)	0,02 (0,00)	1,47 (0,21)	0,63 (0,09)	5,30 (0,20)	7,40 (0,30)	18,89 (2,82)	42,22 (8,99)	3,56 (0,69)	18,54 (5,96)
Pastagem	4,9 (0,09)	362 (45)	77 (9)	183 (15)	378 (41)	0,51 (0,05)	16,3 (1,2)	1,64 (0,14)	1,33 (0,22)	0,11 (0,00)	0,04 (0,00)	1,48 (0,23)	0,70 (0,17)	5,53 (0,46)	7,71 (0,50)	18,00 (2,62)	37,67 (10,34)	2,78 (0,26)	39,86 (8,22)
SAF	4,9 (0,04)	265 (14)	105 (5)	242 (23)	388 (20)	0,64 (0,07)	17,8 (1,0)	1,83 (0,16)	2,24 (0,17)	0,10 (0,00)	0,05 (0,01)	2,39 (0,17)	0,59 (0,13)	6,12 (0,29)	9,10 (0,29)	25,67 (2,15)	23,33 (7,09)	2,89 (0,29)	22,35 (6,71)
Floresta	4,6 (0,10)	229 (47)	65 (6)	212 (19)	493 (35)	0,43 (0,02)	18,1 (0,7)	2,30 (0,11)	1,36 (0,34)	0,13 (0,01)	0,04 (0,01)	1,53 (0,35)	1,14 (0,22)	6,41 (0,35)	9,09 (0,34)	16,67 (4,06)	49,00 (11,26)	4,11 (0,53)	43,78 (7,06)
10 - 20 cm																			
Agricultura	4,7 (0,09)	349 (21)	71 (6)	154 (16)	427 (21)	0,36 (0,04)	11,9 (0,9)	1,37 (0,06)	0,88 (0,18)	0,06 (0,01)	0,02 (0,00)	0,96 (0,18)	0,70 (0,09)	4,89 (0,18)	6,54 (0,26)	14,00 (3,01)	47,89 (9,81)	3,00 (0,29)	21,72 (5,84)
Pastagem	4,9 (0,09)	340 (40)	77 (9)	178 (11)	404 (42)	0,46 (0,05)	12,2 (1,4)	1,28 (0,13)	0,87 (0,09)	0,05 (0,00)	0,03 (0,01)	0,96 (0,09)	0,89 (0,19)	4,80 (0,36)	6,64 (0,32)	13,56 (1,27)	52,33 (9,04)	1,89 (0,17)	32,71 (5,34)
SAF	4,7 (0,13)	251 (10)	104 (4)	216 (16)	429 (15)	0,52 (0,04)	14,6 (1,2)	1,53 (0,13)	0,94 (0,13)	0,06 (0,00)	0,04 (0,00)	1,06 (0,14)	1,01 (0,15)	5,54 (0,14)	7,61 (0,11)	13,78 (2,28)	49,78 (8,04)	2,00 (0,18)	21,67 (5,53)
Floresta	4,5 (0,10)	221 (37)	64 (6)	204 (16)	511 (33)	0,40 (0,04)	14,1 (0,9)	1,79 (0,13)	0,86 (0,44)	0,08 (0,01)	0,04 (0,01)	0,97 (0,45)	1,27 (0,20)	5,99 (0,26)	8,22 (0,29)	11,56 (5,21)	62,00 (10,39)	2,44 (0,24)	34,01 (6,07)

Tabela 2 – continuação...

UT	pH	Areia		Silte	Argila	Relação silte/argila	C	N	Ca ²⁺ Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S ¹	Al ³⁺	H ⁺	T ²	V ³	m ⁴	P _{assim.}	S-SO ₄
		grossa	fina																
água		g.kg ⁻¹				g.kg ⁻¹		cmolc kg ⁻¹					%		mg kg ⁻¹				
10 - 20 cm																			
20 - 40 cm																			
Agricultura	4,8 (0,24)	304 (39)	67 (8)	151 (34)	478 (32)	0,32 (0,10)	7,8 (0,6)	0,97 (0,06)	0,58 (0,54)	0,05 (0,04)	0,02 (0,01)	0,61 (0,53)	0,69 (0,12)	4,02 (0,54)	5,32 (0,53)	10,67 (6,18)	59,00 (7,93)	1,56 (0,56)	36,76 (7,12)
Pastagem	4,8 (0,13)	277 (47)	76 (11)	191 (24)	456 (34)	0,45 (0,06)	8,2 (1,0)	1,00 (0,09)	0,37 (0,73)	0,03 (0,07)	0,03 (0,01)	0,40 (0,71)	0,94 (0,12)	3,88 (0,41)	5,22 (0,74)	7,22 (4,89)	66,33 (6,08)	1,33 (0,69)	50,22 (6,37)
SAF	4,8 (0,18)	218 (32)	92 (8)	210 (28)	480 (19)	0,45 (0,07)	9,2 (0,7)	1,21 (0,10)	0,60 (1,34)	0,03 (0,03)	0,03 (0,01)	0,68 (1,38)	1,10 (0,12)	4,48 (0,38)	6,26 (1,20)	11,11 (7,51)	61,22 (8,48)	1,44 (0,62)	27,40 (6,29)
Floresta	4,6 (0,25)	192 (44)	61 (8)	196 (26)	551 (35)	0,36 (0,07)	10,2 (0,7)	1,39 (0,09)	0,72 (0,94)	0,05 (0,03)	0,03 (0,01)	0,78 (0,95)	1,30 (0,25)	5,10 (0,89)	7,18 (1,18)	9,89 (6,65)	71,78 (7,91)	1,44 (1,37)	64,92 (10,45)

Os valores representam a média de 3 repetições de cada UT a partir dos níveis médios obtidos de três amostras em cada profundidade. ¹ Soma das bases, ² Soma das bases + Al³⁺ + H⁺, ³ Saturação por bases, ⁴ Saturação por alumínio.

2.3. Procedimentos de amostragem

Para cada uso da terra (UT) foram selecionadas três áreas em propriedades rurais distintas, de forma a constituir repetições verdadeiras. Em cada uma foram abertas três mini-trincheiras ao longo da inclinação de terreno para as coletas de amostras de solo, realizando uma coleta no terço inferior, terço mediano e terço superior do morrote. Nos SAFs e fragmentos florestais, as coletas foram realizadas evitando proximidade aos indivíduos arbóreos. Nas pastagens evitou-se áreas com fezes animais. Nas áreas de agricultura foram realizadas coletas nas entrelinhas da cultura. No total, cada UT, resultaram em 9 pontos de coleta com altitudes que variaram de 20,0 m até 64,4 m. Em cada ponto de coleta foram avaliadas a densidade do solo, os teores de C e de N e calculado os estoques de carbono e nitrogênio e índices de qualidade física do solo. As coletas foram realizadas entre os meses de março e maio de 2018.

2.4. Análises físicas e químicas e cálculo dos estoques de C e N

As amostras de densidade do solo foram obtidas em quatro profundidades do solo: 0-5, 5-10, 10-20 e, 20-40 cm, retiradas amostras indeformadas com anéis de Koppeck de 100 cm³ de volume. As amostras foram pesadas úmidas, secas em estufa a 105°C até peso constante para obtenção do peso seco e posterior cálculo da densidade.

Para teores de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT) foram coletadas amostras de solo nos mesmos intervalos de profundidade, secos ao ar, destorroados e passados em peneira de 2 mm de malha, obtendo, assim, Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). As amostras foram enviadas para a Embrapa Solos para determinação dos teores de CO e NT. Os teores de CO, expressos em g Kg⁻¹, foram obtidos pelo método por oxidação úmida Walkley-Black e para NT obtidos pelo método de Kjeldhal, expressos em g Kg⁻¹, e são detalhados por TEIXEIRA et al. (2017).

O estoque foi estimado para cada intervalo de profundidade do solo a partir da densidade e o teor a partir do cálculo: Estoque = Teor x Densidade do solo; e, expresso em Mg ha⁻¹. Foi necessário corrigir os estoques do UTs em relação ao solo da floresta nativa adjacente. Com o pisoteio do gado e manejo de revolvimento do solo nas UTs, a densidade deles pode ter se alterado em relação a densidade verdadeira representada pela vegetação nativa. Nesse procedimento subtrai-se da última camada de solo (20-40 cm) o valor da massa do UT pela massa de solo da floresta nativa e então calcula-se o estoque corrigido do solo, conforme equação abaixo (SISTI et al., 2004):

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

Em que:

C_s é o estoque total em Mg ha⁻¹,

$\sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti}$ é a soma do teor de C ou N da primeira a penúltima camada no perfil do solo no tratamento avaliado em Mg ha⁻¹,

$\sum_{i=1}^n M_{Ti}$ é a soma da massa do solo da primeira à última camada no perfil do solo no tratamento avaliado em Mg ha⁻¹,

$\sum_{i=1}^n M_{Si}$ é a soma da massa do solo da primeira à última camada no perfil do solo no tratamento referência em Mg ha⁻¹,

M_{Tn} é a massa do solo da última camada no perfil do solo no tratamento avaliado em Mg ha⁻¹,

C_{Tn} é a concentração de C ou N do solo da última camada no perfil do solo no tratamento avaliado em Mg de C ou N Mg⁻¹ de solo.

2.5. Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES)

Para avaliação da qualidade física do solo lançou-se mão do Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES) (RALISCH et al., 2017). Nas mesmas mini-trincheiras amostradas foi retirado um torrão de solos com dimensões de 20 cm x 25 cm x 10 cm de comprimento, profundidade e espessura, respectivamente (Figura 8). O torrão foi acomodado no interior de uma bandeja da qual sua largura deve ser de 25 cm coincidindo com a profundidade do torrão. O torrão então foi desmembrado nas menores unidades de agregados em que poderão ser divididos em camadas dentro da profundidade e com isso, aferindo uma pontuação sobre a Qualidade Estrutural da Camada (Q_{e_c}) que farão parte do Índice de Qualidade Estrutural da Amostra (IQEA) (mini trincheira) e da Área (IQES) (UT). Foi avaliado também a cobertura do solo e a abundância das raízes ao redor da amostra retirada. Todas as avaliações foram realizadas apenas por um avaliador, de modo que não variações nas análises não ocorressem.



Figura 8. Etapas de obtenção do monólito e resultado da manipulação para avaliação da estrutura do solo pelo método do DRES (RALISCH et al., 2017). a) Mini-trincheira; b) Monólito; c) Manipulação da amostra; d) Separação de camadas.

Figure 8. Stages of obtaining the monolith and the result of manipulation to evaluate the soil structure by the DRES method (RALISCH et al., 2017). a) Mini trench; b) Monolith; c) manipulation of the sample; d) Separation of layers.

As pontuações variam de 1 a 6, sendo o menor valor o de pior qualidade estrutural representando áreas com alta degradação estrutural do solo e o maior valor, áreas de maior conservação da estrutura do solo (Figura 9). Para os parâmetros de cobertura do solo e abundância de raízes, as pontuações variam de 1 a 5 seguindo a mesma lógica da qualidade estrutural. Dois critérios embasam a adequação das notas: as evidências de degradação ou conservação/recuperação do solo e a proporção visual do volume dos diferentes tamanhos de agregados encontrados no torrão. Para o primeiro critério são observadas a configuração de crescimento da raiz pivotante; predominância de classes de tamanho dos agregados; presença ou ausência de solo desagregado; e ocorrência ou ausência/poucos indícios de atividade biológica. Para o segundo critério as notas (1 a 6) se equiparam com a predominância, em porcentagem, das classes de tamanho de agregados (<1 cm ou > 7 cm; entre 1 cm e 4 cm e; entre 4 cm e 7 cm).

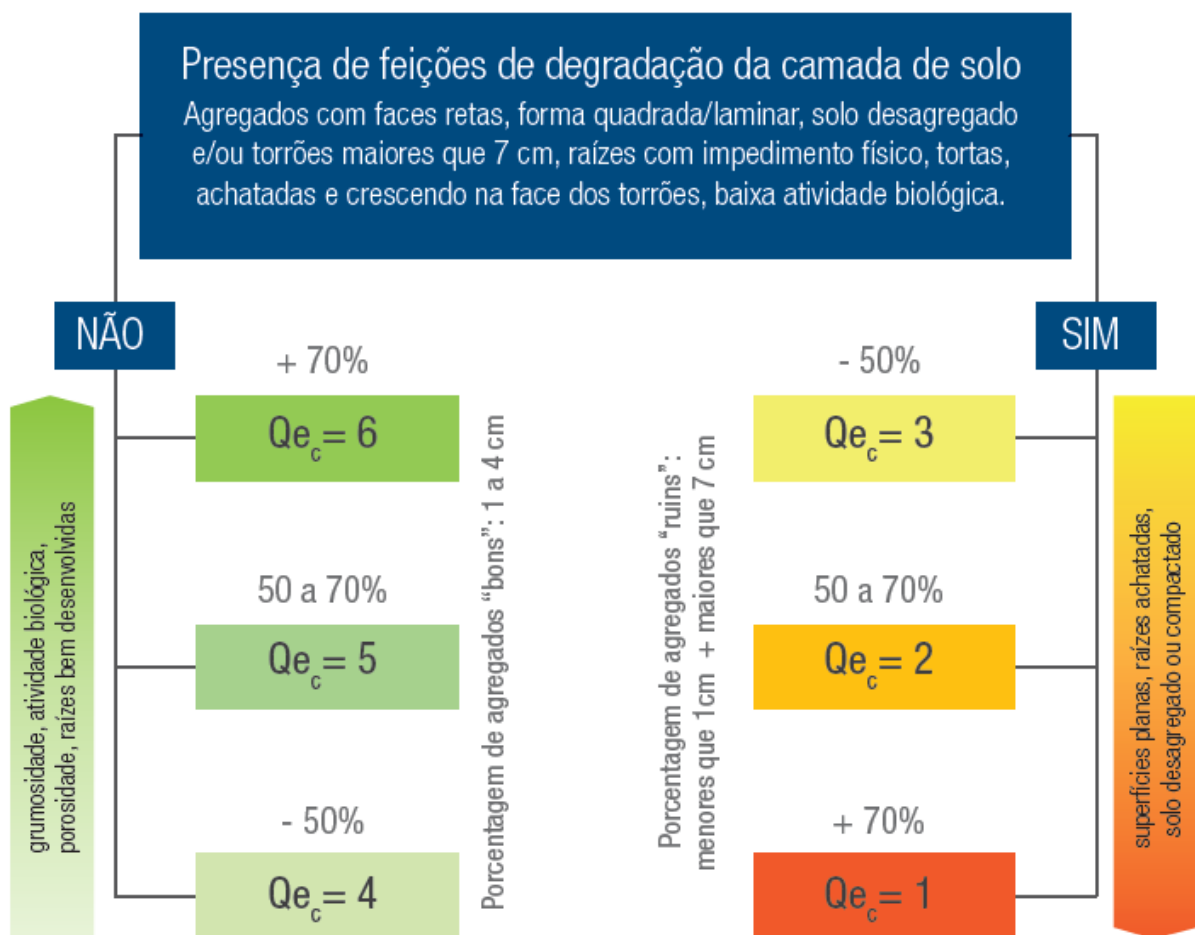


Figura 9. Esquematização dos critérios de avaliação e notas de qualidade estrutural da camada (Qec).
 Fonte: Ralisch et al. (2017).

Figure 9. Schematization of evaluation criteria and grades of structural quality of the layer (QEC).

Os resultados dos parâmetros avaliados foram obtidos pela média das 3 áreas coletadas.

2.6. Análises estatísticas

O tratamento e os cálculos dos dados foram realizados utilizando os pacotes de software aberto R x64 3.5.2 (R CORE TEAM, 2018). A normalidade da distribuição dos dados e a homogeneidade de variância foi testada antes da análise estatística. Primeiramente, nas classes de profundidade e na profundidade total (0- 40 cm), os efeitos dos UTs sobre a variância dos teores e estoques de C, N e relação C/N foram analisados com modelos lineares mistos (pacote lme4 com R). A probabilidade de significância foi definida como $p < 0,05$. Para as variáveis, os usos dos solos foram modelados como fatores fixos com a repetição das amostras como fator aleatório. O teste de Tukey com os tratamentos pareados dois a dois foram comparados em cada profundidade do solo e na profundidade total analisada. A probabilidade de significância foi definida como $p < 0,05$. Os gráficos resultantes do teste são apresentados no item 6 - Anexos.

Os resultados de estoque de C e N foram correlacionados estatisticamente com os índices gerados pelo DRES (IQES, Raiz e Cobertura do solo). O coeficiente de correlação de Pearson foi obtido com 99% de confiança com os dados rodados com o Software aberto R (R CORE TEAM, 2018). A intenção foi verificar similaridade dos resultados obtidos a partir dos parâmetros visuais do DRES e dos indicadores relacionados ao desenvolvimento de estrutura do solo (estoques), e assim avaliar se método de campo é capaz de prever o comportamento de determinados atributos medidos em laboratório.

Os gráficos apresentados foram confeccionados com o software R (R CORE TEAM, 2018) e o software Sigmaplot 12.0 (SYSTAT SOFTWARE, Inc., San Jose California USA, www.systatsoftware.com) e software R x64 3.5.2.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Uso da terra e impacto sobre os teores de C e N do solo

A Tabela 2 resume os valores médios dos teores de carbono e nitrogênio nos intervalos de profundidade para os diferentes UT. Os teores de CO e NT apresentam uma relação inversa com a profundidade do solo em todos os usos, sendo maiores na profundidade mais superficial e diminuindo conforme o aumento da profundidade. O mesmo padrão foi observado para Mata Atlântica em diversos trabalhos, incluindo MARTINS et al. (2015). Esse padrão demonstra nas camadas superficiais a maior deposição de matéria orgânica proveniente, principalmente, da serapilheira, que é o responsável pelo acúmulo de carbono nessa camada à medida que vai sendo humificada e da presença de raízes e atividade microbiana (MAFRA et al., 2008). Os teores de C e N apresentaram diferenças estatísticas em algumas das camadas avaliadas, indicando que o uso do solo interfere na dinâmica da MOS.

Tabela 3. Teores de carbono e nitrogênio e relação C/N distribuídos nos intervalos de profundidades até 40 cm nos diferentes sistemas de uso do solo.

Table 2. Carbon and nitrogen content and C/N ratio distributed in depth ranges up to 40 cm in different soil uses.

Tratamento	Teor				C/N
	C		N		
	g Kg ⁻¹	Sx	g Kg ⁻¹	Sx	
0-5 cm					
Agricultura	15,61 c	0,96	1,64 c	0,09	9,49 ab
Pastagem	23,93 b	1,65	2,27 b	0,14	10,56 a
SAF	21,64 b	2,80	2,28 b	0,24	9,50 ab
Floresta	29,39 a	2,03	3,43 a	0,20	8,56 b
5-10 cm					
Agricultura	13,04 b	0,94	1,49 b	0,09	8,76 ab
Pastagem	16,30 ab	1,21	1,64 b	0,14	9,91 a
SAF	16,43 ab	1,01	1,83 b	0,16	8,96 ab
Floresta	18,07 a	0,66	2,30 a	0,11	7,86 b
10-20 cm					
Agricultura	11,94 a	0,92	1,37 bc	0,06	8,74 ab
Pastagem	12,22 a	1,39	1,28 bc	0,13	9,57 ab
SAF	14,62 a	1,21	1,53 ab	0,13	9,54 a
Floresta	14,12 a	0,90	1,79 a	0,13	7,89 b
20-40 cm					
Agricultura	7,80 a	0,56	0,97 bc	0,06	8,07 a
Pastagem	8,23 a	1,00	1,00 bc	0,09	8,23 a
SAF	9,20 a	0,70	1,21 ab	0,10	7,60 a
Floresta	10,18 a	0,66	1,39 a	0,09	7,33 a

Os valores representam a média de 9 repetições de cada UT. Letras iguais não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. Sx – erro padrão da média.

O fragmento florestal, foi o ambiente mais conservado relacionado em um dos fatores a não sofrer impacto sobre seus agregados e, por isso, apresentou os maiores teores de C e N em todas as profundidades do solo. Opostamente, a agricultura foi o sistema que apresentou

resultados mais baixos para os teores de C e N em todas as profundidades, representando-se como o sistema menos conservador desses elementos. O fragmento florestal se diferenciou estatisticamente de agricultura com maior teor de C na camada superficial e considerando a profundidade total ($p < 0,05$). Os demais usos e camadas não foram diferentes ($p < 0,05$). Para teor de nitrogênio o fragmento florestal foi maior estatisticamente de agricultura e pastagem em todas as camadas além de SAF na profundidade de 0-10 cm ($p < 0,05$). Além do fragmento florestal, a pastagem e SAF tiveram maiores teores de N que agricultura na camada 0-5 cm ($p < 0,05$).

Para relação C/N os usos foram estatisticamente iguais apenas na camada mais profunda de 20-40 cm ($p < 0,05$). O valor mais alto ocorreu na camada 0-5 cm da pastagem. Isso está relacionado a grande produção de raízes adventícias nessa profundidade do solo neste uso.

PEZARICO et al. (2013) compararam o teor de carbono orgânico de dois SAFs com área de soja, erva-mate e mata nas profundidades de 0-10 cm e 10- 20 cm e concluíram que o SAF mais desenvolvido e com mais idade tem resultados similares com a mata e o SAF mais novo com o plantio de erva-mate. Os resultados mais baixos foram encontrados na área de agricultura. Estes achados corroboram com nossos resultados na medida em que comprovam que os sistemas com menor intervenção ou impacto sobre a estrutura do solo, como ocorre em sistemas cultivos perenes, melhora a preservação do C.

No Espírito Santo, MACHADO et al. (2014) compararam teores e estoques de C em Mata Atlântica e áreas de café consorciado com frutíferas e café a pleno sol. Eles observaram que o café menos diversificado tinha redução do carbono orgânico total (COT) pois após a retirada da floresta a diminuição do aporte de material orgânico sobre o solo bem como a exposição do solo ao clima aumentou a oxidação do carbono. O uso de cobertura morta ou viva (no caso das frutíferas) do solo diminui a temperatura do solo e, conseqüentemente, a mineralização da MOS (LOSS et al., 2009), o que preserva os estoques de C do solo. Corroborando com essa afirmação, VIEIRA et al. (2011), encontram correlação inversa entre os estoques de C e N com a temperatura do solo.

A Figura 10 apresenta os teores de C em N para toda a profundidade do solo avaliada até 40 cm. O padrão apresentado é o mesmo para os intervalos de profundidade. A floresta com maiores teores de C e N, respectivamente, $14,55 \text{ g kg}^{-1}$ e $1,86 \text{ g kg}^{-1}$; seguido por SAF, $13,02 \text{ g kg}^{-1}$ e $1,50 \text{ g kg}^{-1}$; pastagem, $12,2 \text{ g kg}^{-1}$ e $1,31 \text{ g kg}^{-1}$ e; agricultura $10,47 \text{ g kg}^{-1}$ e $1,22 \text{ g kg}^{-1}$ apresentando os menores teores. BENITES et al. (2010) observou a mesma sequência dos resultados de teores de C e N nos primeiros 15 cm de profundidade quando comparou áreas com usos de floresta, pastagem e áreas agrícolas, corroborando com os achados desse estudo. Os autores afirmam que a não intervenção no solo é um componente importante de manejo para a conservação da matéria orgânica do solo. FROUFE et al. (2011) em seus estudos com teor de C em 20 cm de profundidade de cambissolos em diferentes UTs no Vale do Ribeira-SP contrastou com o nosso estudo quando observou maiores valores nas áreas de agricultura ($19,21 \text{ g kg}^{-1}$) quando comparados com SAF multiestratos ($18,23 \text{ g kg}^{-1}$), capoeiras ($18,49 \text{ g kg}^{-1}$) e pastagens degradadas ($15,63 \text{ g kg}^{-1}$). Os SAFs foram similares a capoeira e, a pastagem com os piores resultados. Eles concluem que esses resultados se devem a maior aporte externo de adubação orgânica e mineral nas áreas de agricultura e aos níveis de degradação das pastagens estudadas. Diferentemente, a agricultura nesse estudo é realizada a partir do manejo convencional de revolvimento do solo no uso com mandioca e com pouco manejo de adubação. Já as pastagens desse estudo, apesar de nenhum manejo de adubação, possuem pastagem por um longo tempo a com baixa densidade de animais e características visuais de boa preservação.

Com isso, é possível observar que o manejo aplicado sobre os usos pode influenciar significativamente a qualidade química do solo.

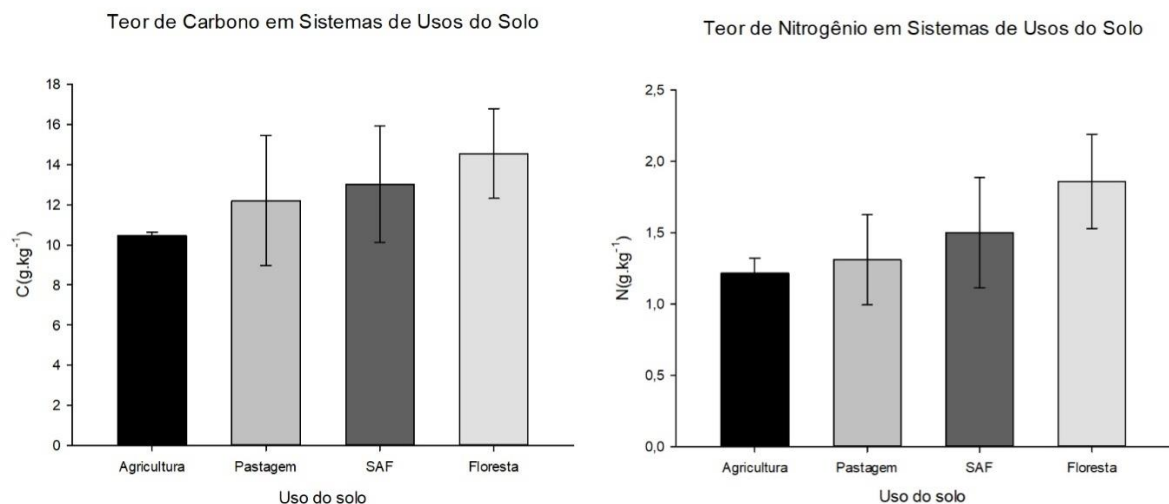


Figura 10. Teores médios com desvio-padrão de Carbono (a direita) e Nitrogênio (a esquerda), em g kg⁻¹ de solo, em usos da terra (agricultura, pastagem, SAF e em fragmentos florestais) na profundidade até 40 cm.

Figure 10. Carbon (right) and Nitrogen content (left), in g kg⁻¹ of soil, in soil uses at depth up to 40 cm.

3.2. Estoques de Carbono e Nitrogênio do solo

As médias dos estoques de C e N no perfil do solo (até 40 cm) são apresentados na Tabela 3. Os estoques de C variaram de 49,24 Mg ha⁻¹ (agricultura) a 59,70 Mg ha⁻¹ (SAF), e de N de 5,10 Mg ha⁻¹ (agricultura) a 7,62 Mg ha⁻¹ (fragmento florestal) aumentando com a maior diversidade de espécies do uso e, como afirmado anteriormente, com o menor tempo de intervenção ao solo. Sob fragmento florestal foram encontrados os maiores estoques N e sob SAF os maiores estoques de C, respectivamente, 7,62 Mg ha⁻¹ de N e 59,70 Mg ha⁻¹ de C. Na agricultura foram verificados os menores valores de estoques de C e N, 44,24 Mg ha⁻¹ e 5,10 Mg ha⁻¹. O sistema pastagem apresentou resultados entre os sistemas agricultura e SAF com 54,00 Mg ha⁻¹ de C e 5,70 Mg ha⁻¹ de N (Figura 11 e Figura 12).

Tabela 4. Estoques de carbono e nitrogênio e relação C/N na profundidade até 40 cm nos diferentes usos do solo.

Table 3. Soil carbon and nitrogen stocks and C/N ratio in the depth ranges up to 40 cm in the different soil uses.

Tratamento	Estoque				C/N
	C		N		
	-----Mg ha ⁻¹ -----	---Sx---	-----Mg ha ⁻¹ -----	---Sx---	
0-40 cm					
Agricultura	44,24 b	2,33	5,10 c	0,15	8,67 ab
Pastagem	54,00 ab	3,77	5,70 bc	0,36	9,47 a
SAF	59,70 a	2,87	6,70 ab	0,40	8,70 ab
Floresta	59,48 a	2,49	7,62 a	0,30	7,81 b

Os valores representam a média de 9 repetições de cada UT. Letras iguais não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. Sx – erro padrão da média

Os resultados apontam que o SAF apresenta melhor qualidade do solo nos estoques de C e N mais próximos da área de floresta. LOSS et al. (2009), ao contrário, encontraram estoque de C para SAF mais baixos comparados com culturas agrícolas em cultivo orgânico. Essa diferença pode ser explicada pela pouca idade do SAF no estudo (5 anos), sem nenhum manejo de adubação e pelo histórico de uso anterior com adubação verde nas áreas com cultivo, bem como a adubação orgânica com cama de aviário e esterco bovino. Isso é explicado por VILELA & MENDONÇA (2013), que afirmam que SAFs não conseguem recuperar estoques de C e N em curto espaço de tempo. Curiosamente, FROUFE et al. (2011) não observaram diferenças entre os estoques de C apesar de ter observado nos teores de C entre SAFs, capoeiras, agricultura e pastagem. Isso pode estar relacionado a relação de aporte de nutrição externa nos usos de agricultura, pela baixa qualidade química dos cambissolos, bem como a metodologia utilizada não fazer o uso da correção de densidade para área de referência.

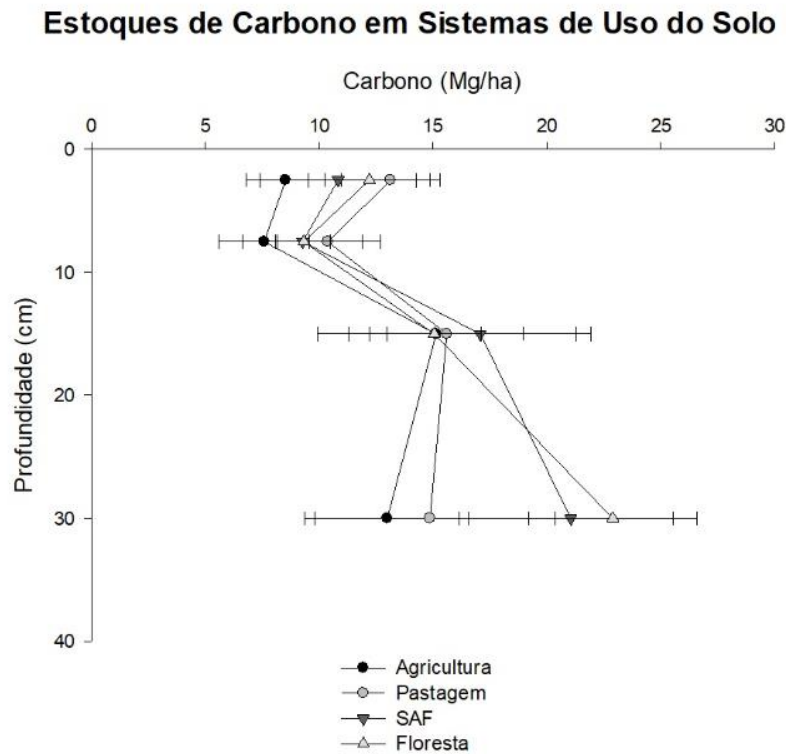


Figura 11. Estoques de Carbono do solo, em $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, em sistemas de uso do solo até 40 cm de profundidade.

Figure 11. Soil Carbon stocks, in $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, in soil uses at up to 40 cm depth.

Estoques de Nitrogênio em Sistemas de Uso do Solo

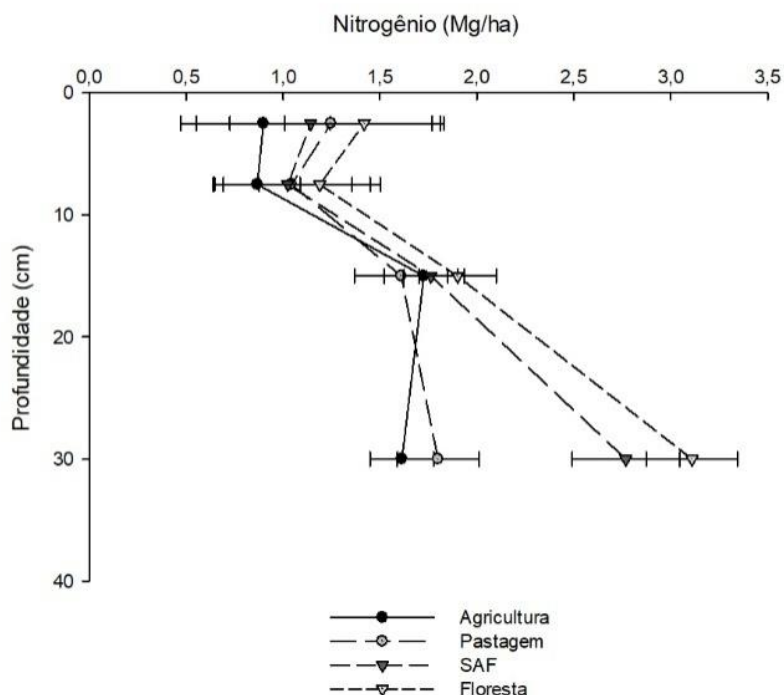


Figura 12. Estoques de Nitrogênio do solo, em $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, em sistemas de uso do solo até 40 cm de profundidade.

Figure 12. Soil Nitrogen stocks (left), in $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, in soil uses at up to 40 cm depth.

FROUFE et al. (2011) encontrou estoques de C semelhantes aos encontrados em nossos estudos para a profundidade 0-20 cm (33 a 39 Mg ha^{-1}), sem diferenças estatísticas entre os UT como observado na maior parte dessa faixa em nosso estudo (5-20 cm). Entretanto os piores resultados foram encontrados para a pastagem degradada naquele estudo enquanto este foi a agricultura. Essas diferenças podem ser explicadas pelo nível de degradação das pastagens e o manejo de adubação realizado nas áreas de agricultura.

Mesmo os SAFs e florestas com dinâmica de deposição e decomposição e microclima distintas das pastagens, os resultados dos estoques de C e N podem ser creditados à maior deposição de matéria orgânica sobre a superfície nos usos com maior cobertura do solo (pastagem, SAF e fragmento florestal), bem como ao menor *turnover* de agregados do solo nessas áreas devido ao menor manejo de revolvimento (DENEFF et al., 2007). Estudos de VIEIRA et al. (2011) alcançaram estoques de C de 206 Mg ha^{-1} e $13,72 \text{ Mg ha}^{-1}$ a 1 m de profundidade em Floresta Atlântica de baixadas. Novos estudos são necessários para observar maior separação de UTs em relação aos estoques de C e N em profundidades maiores.

3.3. Avaliação da qualidade física do solo nos sistemas

Na avaliação da qualidade física das áreas amostradas, o DRES proveu valores de Índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES) de 5,22 a 2,55, apresentando-se sensível aos usos da terra (Tabela 4). A floresta apresentou a melhor qualidade física do solo (5,22), seguida pelo SAF (4,93), pastagem (3,80) e, agricultura apresentando a pior qualidade física do solo com índice de 2,55. O DRES foi um sistema concebido para uso em áreas agrícolas sob plantio

direto. Decorrente do seu potencial, os resultados encontrados apontam para sua utilização na comparação entre diferentes sistemas de uso do solo.

Tabela 5. Notas de qualidade para cobertura do solo, abundância de raízes e Índice de Qualidade da Estrutura do Solo (IQEA) para sistemas de uso do solo (UT).

Table 4. Quality notes for soil cover, abundance of roots and Soil Structure Quality Index (IQEA) for soil uses (UT).

Parâmetro	SISTEMA DE USO DO SOLO			
	Agricultura	Pastagem	SAF	Floresta
Cobertura do solo	2,33	4,56	4,39	5,00
Raiz	2,00	3,67	3,78	4,11
IQES	2,55	3,80	4,93	5,22

Os valores representam a média de 3 repetições de cada UT a partir dos níveis médios obtidos de três amostras. Os valores para os parâmetros de cobertura do solo e abundância de raízes variam de 1 a 5 e o parâmetro IQES varia de 1 a 6. O menor valor (1) representa a pior qualidade dos UT e o maior valor, UTs com melhor qualidade avaliada.

Os resultados demonstram que a maior diversidade de espécies juntamente com maior cobertura do solo, densidade de raízes e o menor revolvimento do solo favorecem a estruturação do solo. Diversos são os autores que citam a maior distribuição de raízes bem como a maior deposição de serapilheira sobre o solo atuam como importantes agentes na proteção, estabilização e agregação do solo, protegendo-o contra a erosão por chuva e, contribuindo também, para o aumento da MOS ao solo (TISDALL E OADES, 1982; SOLLINS et al., 1996; FELLER & BEARE, 1997; SANCHEZ, 2019). A manutenção da estrutura física dos solos em floresta e SAF parece ser a responsável pela manutenção dos teores e dos estoques de C e N, pois permite que haja diminuição do *turnover* de macroagregados e, conseqüentemente, maior estabilização e estocagem de C do solo nos microagregados dos macroagregados (DENEFF et al., 2007).

Os parâmetros de cobertura do solo e raízes corroboraram com o padrão dos resultados de qualidade estrutural do solo nos diferentes UTs. O valor de cobertura do solo de pastagem é ligeiramente maior que do SAF divergindo do resultado de qualidade estrutural. É importante ressaltar que os parâmetros aqui abordados são informações complementares ao estudo do DRES que pode contribuir na elucidação dos fatores que auxiliam na qualidade física dos solos nos diferentes usos que são dados a eles. PEZARICO et al. (2013) afirma que a ausência de preparo em solos mais próximos as condições naturais, como é o caso dos SAFs, resulta em maior presença de raízes, que são responsáveis pela entrada de substratos de compostos com carbono.

Foram encontradas correlações significativamente positivas entre os estoques de C e N e todos os índices de qualidade estrutural do solo (IQES) obtidas pelo DRES (Tabela 5). A correlação entre a qualidade estrutural e os estoques de N foi 0,78, ligeiramente maior que com os estoques de C (0,71) (Tabela 5). Pode-se afirmar que a diferença nos coeficientes de correlação para C e N com os índices do DRES é ínfima. O DRES se mostra com isso uma abordagem metodológica bastante sensível em aferir a qualidade física do solo nos UTs pela sua correlação com a qualidade química.

Tabela 6. Coeficientes de Correlação de Pearson entre os teores de C e N e Índice de Qualidade da Estrutura do Solo (IQES), abundância de raízes e cobertura do solo para sistemas de uso do solo (UT).
Table 5. Quality notes for soil cover, abundance of roots and Soil Structure Quality Index (IQEA) for soil uses (UT).

Variáveis	Correlação de Pearson ®	Probabilidade
C : IQES	0,71	0,0000 *
C : Raiz	0,51	0,0014 *
C : Cobertura do solo	0,61	0,0001 *
N : IQES	0,78	0,0000 *
N : Raiz	0,54	0,0007 *
N : Cobertura do solo	0,67	0,0000 *

* Valores significativos (Prob < 0,01).

O IQES resultou em maior correlação com os dados laboratoriais devido a maior robustez de sua avaliação quando comparado apenas, individualmente, a densidade de raízes e cobertura do solo. O índice engloba esses fatores em sua análise além de avaliar a qualidade estrutural do solo também com os tamanhos e proporção dos agregados do solo. Essas correlações são de grande importância nesse estudo, pois consegue a partir de uma metodologia de avaliação expedita e confrontar com os resultados de métodos convencionais dos parâmetros de qualidade do solo, com necessidade de equipamentos e custo elevado de realização, qualificação da mão de obra para obter os resultados além de maior tempo para obtenção destes. Com isso, o DRES pode ser considerada uma ferramenta de fácil aplicação por agricultores ou técnicos extensionistas que possui forte relação com dados laboratoriais de avaliação da qualidade do solo. Assim, a metodologia consegue observar a qualidade do solo com fidelidade.

VALLE (2018) utilizou o DRES para avaliação de pastagens em quatro diferentes níveis de degradação. Seus resultados de avaliação para o mesmo sistema de pastagem apresentaram uma baixa sensibilidade em separar os tratamentos pelos diferentes níveis de degradação. Os resultados dos níveis mais baixos de degradação (3,90) foram aproximados as pastagens avaliadas nesse estudo (3,80) e os níveis com maior degradação (2,7-2,4) com resultados similares aos da agricultura (2,55). A partir disso, foi possível observar que o DRES pode ser um instrumento que possibilita comparar diferentes usos, mas necessita de maiores discussões e aprimoramentos para comparação entre um mesmo sistema de uso do solo.

Os resultados de correlação são extremamente importantes pois a estrutura do solo avaliada pelo DRES imprimiu ao mesmo, diversos serviços ecossistêmicos para o ambiente. Esse estudo foi pioneiro em utilizar o DRES, concebido para uma realidade de comparação em sistemas de plantio direto, para avaliar diferentes UTs e que proporcionou alta relação com parâmetros de avaliação da qualidade dos solos nestes usos. Mais estudos como esse são necessários, avaliando mais parâmetros de avaliação da qualidade do solo e outros sistemas de manejo do solo, além de outros biomas, para ratificar essa boa afinidade com os resultados do DRES.

4. CONCLUSÕES

Os SAFs estocaram quantidades de carbono e nitrogênio similares aos de fragmentos florestais e das pastagens conservadas.

Os SAFs estocaram mais carbono e nitrogênio que as áreas com agricultura.

O DRES é um método rápido para avaliar a qualidade física do solo com diferentes usos

O DRES possui elevada correlação com parâmetros químicos avaliados.

5. CAPÍTULO II

**TEOR E ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO DAS FRAÇÕES
GRANULOMÉTRICAS DE SOLOS AGROFLORESTAIS, PASTAGENS E
AGRÍCOLAS, NO BIOMA MATA ATLÂNTICA**

RESUMO

Neste estudo objetivou-se quantificar o carbono e nitrogênio total das frações granulométricas da matéria orgânica do solo (MOS) em áreas sob diferentes usos do solo (UT), no bioma Mata Atlântica, no estado do Rio de Janeiro. Foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, sendo nestas quantificados os teores e estoques de carbono e nitrogênio total da matéria orgânica particulada (MOp), carbono e nitrogênio total da fração associada aos minerais (MOam), após separação granulométrica de suas frações. O sistema agroflorestal (SAF) apresentou teores de C e N em MOp (0-5 cm) (0,174 g Kg⁻¹ de N e 3,40 g Kg⁻¹ de C) semelhantes de floresta nativa (0,223 g Kg⁻¹ de N e 3,87 g Kg⁻¹ de C), mas não diferiu dos demais UTs. Na mesma camada a fração MOam a agricultura apresentou os teores mais baixos. O teor de C em subsuperfície (5-10 cm) foi maior em MOam de floresta e os teores de N a pastagem e SAF (1,06 g Kg⁻¹ e 1,14 g Kg⁻¹, respectivamente) também foram semelhantes a floresta (1,40 g Kg⁻¹). Ao contrário do teor, os estoques diferiram em profundidade. A fração MOp não foi sensível para diferenciar os usos. Os maiores estoques em MOam (20-40 cm) foram observados na floresta (85,65 Mg ha⁻¹ de C e 5,31 Mg ha⁻¹ de N) e no SAF (79,43 Mg ha⁻¹ de C e 4,83 Mg ha⁻¹ de N). O SAF é o uso antrópico que mais conserva o estoque de carbono na fração estável da MOS em profundidade. A produção e deposição de biomassa na serapilheira, além da manutenção da estrutura dos agregados apresentam o SAF como uso mais semelhante a um fragmento florestal nas duas frações da MOS, promovendo este uso como uma alternativa sustentável para produção agrícola conservando o solo. Os teores de C e N das frações granulométricas da MOS são eficientes na identificação de mudanças ocasionadas no solo pelo manejo.

Palavras Chave: Fracionamento granulométrico; matéria orgânica particulada; uso do solo.

ABSTRACT

This study aimed to quantify the total carbon and nitrogen of the granulometric fractions of soil organic matter (SOM) in areas under different soil use (SU), in the Atlantic Forest Biome, in the State of Rio de Janeiro. Soil samples were collected in the layers of 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm, and in these quantified the contents and stocks of carbon and total nitrogen of the particulate organic matter (OMp), carbon and total nitrogen of the fraction associated with minerals (OMam), after granulometric separation of its fractions. The agroforestry system (AFS) presented C and N contents in OMp (0-5 cm) (0.174 g Kg⁻¹ of N and 3.40 g Kg⁻¹ of C) similar to native forest (0.223 g Kg⁻¹ of N and 3.87 g Kg⁻¹ of C), but did not differ from the other SUs. In the same layer the OMam fraction the agriculture presented the lowest levels. The C content in subsurface (5-10 cm) was higher in forest MOam and the levels of N to pasture and SAF (1.06 g Kg⁻¹ and 1.14 g Kg⁻¹, respectively) were also like forest (1.40 g Kg⁻¹). Unlike the content, stocks differed in depth. The OMp fraction was not sensitive to differentiate the uses. The largest stocks in OMam (20-40 cm) were observed in the forest (85.65 Mg ha⁻¹ of N and 5.31 Mg ha⁻¹ of C) and in the AFS (79.43 Mg ha⁻¹ of N and 4.83 Mg ha⁻¹ of C). The AFS is the anthropic use that most conserves the carbon stock in the stable fraction of the SOM in depth. The production and deposition of biomass in the litter, besides the maintenance of the aggregate structure, present the AFS as a more similar use to a forest fragment in the two fractions of the SOM, promoting this use as a sustainable alternative for agricultural production conserving the soil. The levels of C and N of the granulometric fractions of SOM are efficient in the identification of changes caused by soil management.

Keywords: granulometric fractionation; particulate organic matter; soil use.

1. INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo (MOS) compreende todo o carbono orgânico presente no solo na forma de resíduos frescos ou em diversos estágios de decomposição, compostos humificados e materiais carbonizados (ex.: carvão em solos de savana) associados ou não à fração mineral; assim como a porção viva, composta por raízes e pela micro, meso e macrofauna (SANCHEZ et al., 1989; ROSCOE & MACHADO, 2002). Inúmeras são as características positivas da matéria orgânica (MO) no solo. DORAN (1997) destaca que a MOS contribui para a estabilidade dos agregados, e da estrutura do solo, infiltração e retenção de água, resistência à erosão, atividade biológica, capacidade de troca catiônica (CTC), disponibilidade de nutrientes para as plantas, diminuição da lixiviação de nutrientes, liberação de CO₂ e outros gases para a atmosfera.

Os solos são o terceiro maior *pool* de C, um dos mais ativos no ciclo biogeoquímico do carbono no ecossistema terrestre (JANZEN, 2004). Ele é estimado entre 1500 (IPCC, 2000) e 2000 Pg, representando quatro vezes mais que a biomassa vegetal, e influenciam diretamente no ciclo global do carbono (JANZEN, 2004). A principal entrada de C no solo é a partir de senescência da biomassa terrestre (folhas secas, frutos caídos, galhos, resíduos de culturas, composto vegetal, esterco animal, animais mortos e esgoto) e/ou de sua queima (JANZEN, 2004; SANCHEZ, 2019). A capacidade de estocagem de C do solo é influenciada por diferentes fatores, como: tipos de solo, dos sistemas de cultura, dos sistemas de preparo de solo e das condições climáticas regionais, que podem favorecer ou retardar os processos de decomposição dos resíduos e de síntese e decomposição da MOS (SANCHEZ, 1976).

Em ambientes naturais de regiões tropicais os estoques de MOS são estáveis devido ao balanço de decomposição acelerada pelos microrganismos e as altas taxas de produção de resíduos vegetais para o solo (SANCHEZ, 1976; BAYER & MIELNICZUK, 2008). Já nas áreas com ação antrópica intensa, a quebra de agregados, o aumento de temperatura e a presença de água nas chuvas são condições favoráveis para o ataque microbiano sobre a matéria orgânica do solo (MOS) e redução dos estoques de C do solo (BAYER et al., 2000, BAYER & MIELNICZUK, 2008).

A MOS é um componente muito heterogêneo em sua dinâmica (TRUMBORE & CAMARGO, 2009; URQUIAGA et al., 2016). Três diferentes mecanismos de proteção fazem a MOS ser protegida da mineralização pelos microrganismos (SOLLINS et al., 1996): a recalcitrância química das diferentes moléculas da matéria é o primeiro nível de proteção (ROSCOE et al., 2006); a oclusão da MOS dentro de agregados do solo (COLLINS et al., 1997); e as ligações de complexação entre o componente orgânico com o mineral nas frações de maior densidade específica de cargas (silte e argila) (CHRISTENSEN, 2001). BAYER & MIELNICZUK (1999) afirmam que o ataque microbiano sobre as formas de MOS está condicionada as características do ambiente como a presença de água e as condições em que a MOS se encontram organizadas. Assim, as frações menos protegidas, ou com menor grau de interação com a fração mineral do solo possuem uma degradação mais acelerada.

O fracionamento granulométrico é uma maneira de estudar a MOS reduzindo a heterogeneidade da MOS separando em frações homogêneas quanto à dinâmica e função (CHRISTENSEN, 2000). A MOS pode ser compartimentada, a partir do tamanho dos agregados e das classes texturais. A matéria orgânica particulada (MOp) é a MO fracamente ou nada ligada a fração mineral do solo caracterizada por partículas derivadas de resíduos de plantas e hifas com estruturas celulares reconhecíveis, sendo então a fração mais lábil e sua

proteção condicionada a proteção física por parte dos agregados (GOLCHIN et al., 1994). A matéria orgânica associada aos minerais (MOam) é aquela que realiza fortes ligações de complexação com a fração silte e argila do solo, formando complexos organominerais estando protegidas por estado ligação coloidal e, por isso, mais estável no solo (GOLCHIN et al., 1994; ROSCOE & MACHADO, 2002).

LOSS et al. (2009) em estudos com COp, COam e COT observaram que o COp se mostrou mais eficiente que o COT para explicar as variações do carbono nos sistemas de manejo no verão por esta fração ser a mais disponível ao ataque de microrganismos. LIMA et al. (2016) observam uma relação positiva entre a fração COam com a COT que destaca a importância de mecanismos de estabilização da matéria orgânica no incremento dos teores de COT no solo. KIRKBY et al. (2013) trabalhando no manejo dessa fração mais estável, confirmaram a hipótese que nesta, o sequestro de C a partir da maior humificação de materiais ricos em C poderia ser aumentado com a adição de nitrogênio, fósforo e enxofre. DENEFF et al. (2007) estudando o manejo da MOS a fração mais estável foi maior em áreas de plantio direto e mata nativa comparado a plantio convencional de sítios degradados. Estes concluíram que essa fração é mais responsiva às mudanças de manejo do que o COT, sendo esta, uma fração diagnóstica para as mudanças na CO assim como as potenciais mudanças totais no uso da terra.

Nesses estudos, os resultados foram melhores sempre para áreas com maior diversificação do sistema de produção bem como pela proteção da estrutura do solo pelo manejo aplicado. O sistema agroflorestral (SAF) é um complexo modelo de sistema de produção que concilia a produção agrícola e florestal, em consonância com a conservação do meio ambiente, seus recursos e funções ecossistêmicas (NAIR et al., 2009; NAIR, 2011; SOUZA et al., 2012). Diversos autores apresentam os serviços ecossistêmicos que os SAFs promovem em benefício ao meio ambiente a partir do solos (DOMINATI et al., 2010) como o sequestro, estocagem de C e potencial de mitigação dos gases de efeito estufa (GEEs) e das mudanças climáticas, a fixação de N₂ atmosférico, ciclagem de nutrientes (pela presença de raízes mais profundas), acúmulo de matéria orgânica, e manutenção da fauna do solo e da qualidade química, física e biológica (TONRQUIST et al., 1999; SOUZA et al., 2012; NAIR et al., 2009; JOSE, 2009; GAMA-RODRIGUES et al., 2010, 2011; NAIR, 2011; ARAÚJO et al., 2013). NAIR (2011) estima que SAFs podem estocar de 30 a 300 Mg ha⁻¹ até 1 m de profundidade do solo

Nesse sentido, há uma necessidade de aumentar os esforços para identificação de práticas agropecuárias que se adequem a conservação dos solos junto à produtividade das culturas que elevem o acúmulo de MOS e estoques de C e em especial em compartimentos mais recalcitrantes, ou seja, resistentes a degradação, garantindo, assim, a sustentabilidade da atividade agrícola (DIAS, 2015; ROCHA et al., 2014). Diante do exposto tem-se por hipótese que os SAFs apresentam maiores teores de C e N na fração MOam que os demais sistemas de uso do solo. Esse capítulo tem como objetivo comparar os teores de C e N das frações granulométricas da MOS em SAFs aos usos da terra predominante na região de Casimiro de Abreu e Silva Jardim, de forma a prover dados que validem sua recomendação para manter a qualidade do solo nesses ambientes historicamente degradados e a cuja permeabilidade e fluxo gênico entre fragmentos e remanescentes florestais é de vital importância.

2. MATERIALE MÉTODOS

2.1. Caracterização das áreas de estudo

A descrição da caracterização das áreas de estudo, dos usos da terra e sistemas amostrados, dos procedimentos de amostragem, das análises químicas dos teores e estoques totais de C e N foram apresentados no primeiro capítulo nos itens 2.1 a 2.3 dessa dissertação.

2.2. Fracionamento físico da matéria orgânica

Amostras com aproximadamente 20,0 g de TFSA foram fracionadas fisicamente conforme CAMBARDELLA & ELLIOT et al. (1992), com algumas adaptações. Foram adicionadas 60mL de NaOH 0,5 Mol L⁻¹ em potes de vidro e agitadas em mesa agitadora horizontal por 16 horas. Embora a metodologia original utilize hexametáfosfato como agente dispersante de amostra de solo, utilizou-se o hidróxido de sódio por este promover melhor dispersão em solos tropicais, além, da sua adequação pela necessidade de análise de P das amostras. Quando esta foi vertida em peneira de 0,053 mm, duas frações da matéria orgânica foram geradas, a fração orgânica particulada (MOp) que fica retida na peneira e a outra, que transpassa estando associada à fração mineral de silte e argila do solo, denominada de fração pesada ou associada à fração mineral (MOam) (CAMBARDELLA & ELLIOT, 1992). Ambas as frações seguiram para estufa (60°C) para secagem, antes de serem caracterizadas quimicamente. Para essas análises, as frações foram finamente moídas até textura de talco.

2.3. Análise química das frações da MOS

Ambas as frações (MOp e MOam) secas foram pesadas em cápsulas de estanho com aproximadamente 200 mg de amostras maceradas em almofariz de ágata até passar em malha de peneira com abertura de 0,25mm. Estas foram caracterizadas quimicamente quanto aos teores de N e C total, por meio de combustão seca, em um analisador elementar Leco Truspec CHN (Modelo CHN TruSpec Micro, LECO, Michigan, EUA). Este detecta carbono sob a forma de CO₂ através de células de Infravermelho e nitrogênio sob a forma de N₂ por células de condutividade. Colunas específicas para análise de C e N foram usadas conforme recomendação do fabricante. Os resultados dos teores foram então corrigidos para a contribuição da massa de cada fração sobre a massa total do solo. Nesse procedimento multiplica-se o resultado do teor da fração obtida e multiplica-se pela razão entre a massa da fração sobre a massa total, conforme equação abaixo:

$$Teor_{corrigido} = Teor_{fração} \times \frac{M_{MOp}}{M_{total}}$$

Os estoques foram calculados da mesma forma como descrito no item 2.4 do primeiro capítulo.

2.4. Análise estatística

A análise estatística foi realizada utilizando os pacotes de software aberto R x64 3.5.2 (R CORE TEAM, 2018) para as frações da matéria orgânica do solo nas classes de profundidade e para a profundidade total (0-40 cm). A normalidade da distribuição dos dados e a homogeneidade de variância foi testada, antes da análise estatística. Os efeitos dos teores e estoques de carbono e nitrogênio foram analisados para cada grupo de horizontes. Para tanto, utilizou-se a análise estatística univariada em modelo misto com o pacote "lme4" do software R. A probabilidade de significância foi definida como $p < 0,05$. Nesta análise, o teor ou estoque de C ou N foram considerados como um efeito fixo e os perfis de coleta como um efeito aleatório.

O teste de Tukey com os tratamentos pareados dois a dois foram comparados em cada profundidade do solo e na profundidade total analisada. A probabilidade de significância foi definida como $p < 0,05$. Devido ao uso de um modelo estatístico misto, valores médios semelhantes podem ter letras diferentes. Isso ocorre porque o método de comparação calcula um erro padrão para o valor médio de cada um dos níveis de efeito fixo. Consequentemente um nível com maior variabilidade em suas repetições será estatisticamente semelhante a um maior número de níveis. Os gráficos resultantes do teste são apresentados no item 6 - Anexos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Qualidade do teor de C e N no fracionamento granulométrico da MOS decorrente do uso da terra

Os teores de carbono e nitrogênio nas frações granulométricas do solo apresentaram uma relação inversa com a profundidade do solo em todos os usos, sendo maiores na profundidade mais superficial e diminuindo conforme o aumento da profundidade (Tabela 6). Os teores de C e N apresentaram diferenças estatísticas em algumas das camadas avaliadas em função da cobertura vegetal, indicando que o uso do solo interfere na dinâmica dessas frações da MOS. A Tabela 6 resume a contribuição das frações MOp e MOam sobre os teores de C e N nos intervalos de profundidade e na profundidade total amostrada do solo para os diferentes UT.

Os teores em MOam são vertiginosamente maiores que em MOp, pois esta fração é mais estável no solo pela interação química com a fração mineral do solo, apresentando também um turnover mais lento dos nutrientes, o que leva a maior acúmulo (BAYER et al., 2004). Esse padrão de acumulação é característico de solos tropicais (FELLER e BEARE, 1997; ROSCOE e MACHADO, 2002). As maiores diferenças ocorreram nas camadas até 10 cm de profundidade devido, provavelmente a práticas de manejo utilizadas. Essa é a profundidade que mais é atingida no manejo de revolvimento do solo, que quebra e diminui a estabilidade dos agregados e, conseqüentemente, a matéria orgânica menos protegida. Isso por sua vez, promove uma menor qualidade da matéria orgânica presente nesses solos. De 20 a 40 cm os diferentes usos do solo não diferiram estatisticamente para o teor de ambos os elementos o que em parte representa preservação do legado natural em termos de C. DINIZ et al. (2015) avaliou os teores de C das frações granulométricas em diferentes plantios de clones de seringueira na mesma região de Mata Atlântica nas camadas até 10 cm. Os valores encontrados são expressivamente menores dos encontrados em todos os UTs deste estudo, 0,5 - 1,0 g kg⁻¹ em MOp e 14,0 - 19,2 g kg⁻¹ para MOam.

Tabela 7. Teores de carbono e nitrogênio e relação C/N das frações particulada (MOp) e associada aos minerais (MOam) da matéria orgânica do solo distribuídos nos intervalos de profundidades até 40 cm e na profundidade total nos diferentes sistemas de uso do solo.

Table 6. Carbon and nitrogen contents and C/N ratio of fractions particulate and associated with minerals of the soil organic matter distributed in the depths ranges up to 40 cm and in the total depth in the different soil uses.

Tratamento	MOp					MOam								
	C		N		C/N	C		N		C/N				
	g Kg ⁻¹	Sx	g Kg ⁻¹	Sx		g Kg ⁻¹	Sx	g Kg ⁻¹	Sx					
0-5 cm														
Agricultura	1,91	b	0,57	0,138	b	0,009	13,86	24,68	b	2,52	1,01	b	0,09	24,33
Pastagem	1,94	b	0,20	0,132	b	0,008	14,72	34,59	a	2,92	1,30	a	0,13	26,68
SAF	3,40	ab	0,74	0,174	ab	0,019	19,56	33,48	a	2,10	1,33	a	0,17	25,08
Floresta	3,87	a	0,85	0,223	a	0,038	17,36	38,69	a	2,68	1,59	a	0,12	24,40
5-10 cm														
Agricultura	1,43	a	0,12	0,113	b	0,008	12,58	23,70	b	2,82	1,05	b	0,09	22,52
Pastagem	1,55	a	0,15	0,129	a	0,016	12,07	28,12	b	3,33	1,06	ab	0,10	26,61
SAF	1,72	a	0,14	0,125	a	0,009	13,76	26,62	b	0,92	1,14	ab	0,11	23,39
Floresta	1,74	a	0,43	0,124	a	0,032	13,99	35,69	a	2,80	1,40	a	0,15	25,46
10-20 cm														
Agricultura	1,27	a	0,09	0,108	a	0,012	11,78	16,79	a	0,96	1,10	a	0,07	15,22
Pastagem	1,39	a	0,09	0,110	a	0,011	12,65	16,75	a	2,21	1,10	a	0,16	15,24
SAF	1,31	a	0,08	0,119	a	0,006	10,99	16,57	a	1,17	1,15	a	0,07	14,46
Floresta	1,19	a	0,13	0,088	a	0,012	13,50	19,07	a	1,53	1,45	a	0,12	13,16
20-40 cm														
Agricultura	0,98	a	0,07	0,102	a	0,009	9,67	12,54	a	0,50	0,84	a	0,07	14,97
Pastagem	0,99	a	0,09	0,097	a	0,011	10,20	12,66	a	1,60	0,89	a	0,11	14,31
SAF	0,91	a	0,06	0,088	a	0,002	10,26	12,35	a	0,85	0,98	a	0,06	12,61
Floresta	0,87	a	0,12	0,069	a	0,012	12,59	15,01	a	1,11	1,14	a	0,08	13,16
0-40 cm														
Agricultura	1,23	a	0,07	0,109	a	0,007	11,23	16,51	a	0,93	0,95	b	0,04	17,33
Pastagem	1,34	a	0,10	0,112	a	0,010	11,98	18,14	a	2,11	1,02	ab	0,09	17,77
SAF	1,42	a	0,14	0,111	a	0,003	12,77	17,83	a	0,79	1,09	ab	0,08	16,43
Floresta	1,43	a	0,14	0,100	a	0,012	14,34	21,57	a	1,41	1,31	a	0,09	16,52

Os valores representam a média de 9 repetições de cada UT. Letras iguais não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. Sx – erro padrão da média

Apenas na camada de 0-5 cm do solo o teor de C da fração particulada se diferenciou entre os usos. Essa é a fração de maior labilidade do solo e por isso reconhecida como a de maior relação com o manejo dado ao solo em períodos curtos de tempo (HAYNES, 2000; ROSCOE e MACHADO, 2002; FREITAS et al., 2000; PINHEIRO et al., 2010; COUTINHO et al., 2014). DENEFF, et al. (2007) afirma que em sistemas florestados, a MOp livre pode contribuir para o aumento total do estoque de C devido às taxas de entrada de material orgânico mais elevadas, à qualidade da serapilheira diferente e aos diferentes ciclos de crescimento vegetal, além do menor regime de distúrbio em florestamento em comparação com áreas cultivada.

O SAF com 3,40 g Kg⁻¹ de C foi o único tratamento igual a floresta (3,87 g Kg⁻¹), mas também não diferiu de pastagem (1,94 g Kg⁻¹) e agricultura (1,91 g Kg⁻¹). Os maiores valores na floresta e SAF podem estar relacionadas a um dos três fatores de proteção da MO sobre ataque dos decompositores, a recalcitrância intrínseca a molécula orgânica. Os ambientes florestais e os SAFs apresentam maior quantidade de indivíduos arbóreos, que por sua vez, apresentam mais teores de moléculas como a lignina, cutina e suberina, estes mais recalcitrantes que outras moléculas mais simples (ROSCOE et al., 2006). Além disso, frações lábeis são comumente relacionadas a proteção física dos agregados, as quais tornam inacessíveis para os microrganismos e tendem a permanecer no solo por um longo período quando a estrutura do solo é preservada (BAYER et al., 2004). Nas demais camadas nenhum tratamento tiveram os teores estatisticamente diferentes.

Na fração associada aos minerais na camada 0-5 cm a agricultura (24,68 g Kg⁻¹) teve o teor de carbono menor que aos demais que não diferiram entre si, estes variando entre 33,48 a 38,69 g Kg⁻¹. A pastagem apesar de ser apenas uma família específica em sua composição (Poaceae) apresenta teores similares aos UTs mais complexos devido a sua eficiência na produção de biomassa devido a seu sistema radicular abundante volumoso com elevada renovação (D'ANDRÉA et al., 2004). Em estudo de MARQUES et al. (2015), estudando o carbono orgânico em diferentes frações do solo na Amazônia em áreas degradadas recuperadas com uso de pastagem, floresta secundária (SS) e SAF concluem que o SAF e SS conseguiram recuperar o C do solo como em uma floresta primária. Em nosso estudo, a pastagem possui estoques similares de C devido ao histórico de não degradação o que pode demonstrar também um bom manejo e uso do solo. Vários outros estudos corroboram com nossos achados, tanto para Amazônia (CERRI et al., 2004), quanto para o bioma Mata Atlântica (PINHEIRO et al., 2015).

Na camada abaixo até 10 cm o padrão muda e a floresta é a única diferente com o maior valor (35,69 g Kg⁻¹), sendo os demais usos antrópicos iguais (23,70 a 28,12 g Kg⁻¹). Na camada até 40 cm, o teor em MO_{am} acompanha a fração particulada e não diferem os usos. Resultados encontrados em estudo de SILVA et al. (2017) em um SAF na Mata Atlântica corroboram com este estudo, encontrando teores de CO_{am} maiores que CO_p. Entretanto, quando comparada os teores de cada fração dos dois estudos, os teores de SILVA et al. (2017) são maiores de CO_p e menores de CO_{am} em todas as camadas de solo. A diferença pode ser explicada pelo SAF neste estudo proporcionar maior taxa de deposição de material fresco no solo e uma menor taxa de humificação da MO.

Para o nitrogênio, a variação das camadas nas duas frações da MOS é semelhante. Nos primeiros 5 cm de solo na fração particulada, o único uso igual a floresta (0,223 g Kg⁻¹) é o SAF (0,174 g Kg⁻¹), mas que também não difere de pastagem e agricultura (0,132 g Kg⁻¹ e 0,138 g Kg⁻¹, respectivamente). Enquanto na fração associada aos minerais, o teor de nitrogênio em solo de agricultura (1,01 g Kg⁻¹) é diferente dos demais usos que variam entre (1,30 g Kg⁻¹ e 1,59 g Kg⁻¹). Aprofundando até 10 cm o teor de nitrogênio na fração particulada em SAF (0,125 g Kg⁻¹) apresenta o menor teor relacionado ao uso, não diferindo apenas com agricultura (0,113 g Kg⁻¹). Apesar desta última apresentar o menor valor, ela não apresenta diferença significativa com pastagem e floresta (0,129 g Kg⁻¹ e 0,124 g Kg⁻¹, respectivamente). Quando se observa a fração associada ao silte e a argila o teor em agricultura é o menor (1,06 g Kg⁻¹) mas difere apenas da floresta nativa que possui concentração de 1,40 g Kg⁻¹ de N. O pasto e o SAF já não diferem de nenhum dos usos (1,06 g Kg⁻¹ e 1,14 g Kg⁻¹, respectivamente). A profundidade de 20-40 cm não apresenta diferenças e nenhuma das frações dos UTs.

A maior diferenciação do uso com agricultura das demais, evidencia a relação entre o as formas de manejo de proteção da estrutura do solo com realização da cobertura permanente da superfície e sobre a manutenção dos agregados. Solos com maior revolvimento ocasionam desestruturação do solo com a quebra dos agregados o que diminui os teores de MOam. DENEFF et al. (2007) explica isso comparando a diferença taxa de ciclagem de C maior em plantios com cultivo convencional e menor plantio direto com a adição de material e a qualidade da serapilheira sendo similares.

A falta de recobrimento da superfície do solo e menor deposição de serapilheira ocasionam menores teores em MOp pela menor disponibilidade de novos resíduos orgânicos de fácil acesso aos agentes decompositores. O SAF, por outro lado, apresenta teores de C em MOp similares ao da floresta promovendo dinâmica semelhante na superfície do solo das matas, apontando a importância da constante deposição e da diversificação de material orgânico. Estas características contribuem para uma menor velocidade de mineralização o que não ocorre nas pastagens, que possuem maior labilidade (SALTON et al., 2011). Com isso, há maior tempo para o material ser humificado, sendo essa a principal fração de suprimento de resíduos orgânicos ao sistema solo (CHRISTENSEN, 2000).

Buscando observar os teores de C e N das frações considerando os 40 cm de profundidade analisados os resultados não apresentam uma variação grande e significativa suficiente para diferenciar os UTs. Apenas o teor de nitrogênio associado aos minerais que houve diferenças estatísticas apresentando a mata nativa o maior teor ($1,31 \text{ g Kg}^{-1}$) que se difere da agricultura ($0,95 \text{ g Kg}^{-1}$). Já a pastagem e os sistemas agroflorestais possuem teores entre os outros dois, e não diferiram de nenhum deles ($1,02$ e $1,09 \text{ g Kg}^{-1}$, respectivamente). Isso pode estar relacionado com a grande variabilidade dos dados. É possível observar também uma maior diferenciação dos usos da terra quando se analisa a fração associada aos minerais, está mais estável e maior quantidade no solo. Porém é na fração particulada que é possível observar maior similaridade do SAF com a floresta atlântica. De forma sequencial, o SAF foi o UT o mais próximo a floresta seguida da pastagem e a agricultura o UT mais destoante.

Observando os resultados é possível compreender que na fração em que os elementos estão menos acessíveis ao ataque microbiano, a mudança de uso do solo acarreta perdas de N total principalmente quando a área antropizada apresenta solo exposto e quebra da agregação do solo, como é o caso da agricultura. Esses importantes achados favorecem a divulgação do SAF como uma estratégia de conservação do solo do ambiente de relevo acidentado, típico do bioma Mata Atlântica. Observamos que o uso antrópico do solo com SAF, mantém a cobertura da superfície e a manutenção dos agregados e, por isso, apresentam teores similares de N total.

3.2. Impacto do uso da terra sobre os estoques de C e N das frações físicas da MOS

Pela Tabela 7 são observados os resultados dos estoques de Carbono e Nitrogênio totais e da relação C/N nas frações granulométricas da MOS. O C da fração particulada não conseguiu diferenciar nenhum dos UTs pelos seus estoques. Os valores de estoque de C se encontram entre $0,81$ a $2,10 \text{ Mg ha}^{-1}$ e os estoques de N entre $0,059$ a $0,206 \text{ Mg ha}^{-1}$ nas camadas, totalizando estoques entre $5,14$ a $6,26 \text{ Mg ha}^{-1}$ de C e $0,416$ a $0,498 \text{ Mg ha}^{-1}$ de N nos 40 cm de profundidade. A igualdade estatística em suas camadas pode estar relacionada a grande amplitude dos dados obtidos dos UTs e atribuídos aos efeitos aleatórios das repetições nos modelos. SALTON et al. (2011) comparando estoques de COp em cultivos anuais e consórcios

de pastagem com cultivos e pastagem permanentes observaram diferenças com maior estoques em pastagens permanentes ou em consórcio com os cultivos agrícolas.

Tabela 8. Estoques de carbono e nitrogênio e relação C/N das frações particulada (MOp) e associada aos minerais (MOam) da matéria orgânica do solo distribuídos nos intervalos de profundidades até 40 cm e na profundidade total nos diferentes sistemas de uso do solo.

Table 7. Carbon and nitrogen stocks and C/N ratio of the fractions particulate and associated with minerals of the soil organic matter distributed in the depths ranges up to 40 cm and in the total depth in the different soil uses.

Tratamento	MOp					MOam				
	C		N		C/N	C		N		C/N
	Mg ha ⁻¹	Sx	Mg ha ⁻¹	Sx		Mg ha ⁻¹	Sx	Mg ha ⁻¹	Sx	
0-5 cm										
Agricultura	1,04	a 0,12	0,075	a 0,055	13,88	13,51	a 1,27	0,55	a 0,05	24,40
Pastagem	1,36	a 0,14	0,089	a 0,071	15,25	18,42	a 1,28	0,72	a 0,07	25,67
SAF	1,69	a 0,35	0,090	a 0,093	18,83	16,62	a 0,74	0,65	a 0,08	25,64
Floresta	1,67	a 0,36	0,098	a 0,078	17,15	16,83	a 1,25	0,69	a 0,06	24,36
5-10 cm										
Agricultura	0,83	a 0,08	0,066	a 0,005	12,65	13,67	a 1,61	0,61	a 0,06	22,24
Pastagem	1,00	a 0,11	0,083	a 0,010	12,06	17,72	a 1,89	0,67	a 0,06	26,34
SAF	0,96	a 0,04	0,064	a 0,010	15,08	15,89	a 1,17	0,64	a 0,04	25,00
Floresta	0,81	a 0,14	0,059	a 0,017	13,78	17,29	a 0,79	0,67	a 0,04	25,69
10-20 cm										
Agricultura	1,62	a 0,14	0,136	a 0,006	11,88	21,26	a 1,35	1,40	a 0,10	15,22
Pastagem	1,82	a 0,18	0,144	a 0,011	12,67	20,94	a 2,22	1,37	a 0,15	15,30
SAF	1,51	a 0,07	0,139	a 0,008	10,85	18,58	a 1,13	1,30	a 0,08	14,33
Floresta	1,31	a 0,18	0,098	a 0,012	13,35	19,28	a 1,60	1,48	a 0,12	13,01
20-40 cm										
Agricultura	1,44	a 0,12	0,152	a 0,017	9,49	17,90	b 0,96	1,18	b 0,10	15,11
Pastagem	1,79	a 0,19	0,177	a 0,024	10,08	22,28	b 2,50	1,61	b 0,20	13,88
SAF	2,10	a 0,17	0,206	a 0,014	10,20	28,34	a 1,99	2,25	a 0,13	12,62
Floresta	2,05	a 0,36	0,162	a 0,034	12,68	32,26	a 1,75	2,46	a 0,12	13,11
0-40 cm										
Agricultura	5,14	a 0,33	0,447	b 0,032	11,49	69,31	a 3,80	3,95	b 0,17	17,54
Pastagem	5,97	a 0,54	0,493	a 0,056	12,10	79,36	a 7,47	4,36	ab 0,34	18,18
SAF	6,26	a 0,44	0,498	a 0,020	12,56	79,43	a 1,89	4,83	ab 0,23	16,46
Floresta	5,84	a 0,71	0,416	a 0,062	14,04	85,65	a 4,58	5,31	a 0,27	16,14

Os valores representam a média de 9 repetições de cada UT. Letras iguais não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. Sx – erro padrão da média

Na fração da MOS complexada o cenário muda em profundidade. Quando se observa esta fração até 20 cm de profundidade, os usos do solo não são significativamente diferentes. Mas na profundidade de 20-40 cm, o SAF (28,34 Mg ha⁻¹ de C e 2,25 Mg ha⁻¹ de N) é estatisticamente igual a mata nativa (32,26 Mg ha⁻¹ de C e 2,46 Mg ha⁻¹ de N) e ambos diferentes de pastagem (22,28 Mg ha⁻¹ de C e 1,61 Mg ha⁻¹ de N) e agricultura (17,90 Mg ha⁻¹ de C e 1,18 Mg ha⁻¹ de N). A diferenciação dos estoques de C e N na última camada influenciam no resultado da profundidade total apenas para o estoque de nitrogênio. A agricultura (3,95 Mg ha⁻¹

¹⁾ não consegue alcançar os estoques da floresta (5,31 Mg ha⁻¹). Entretanto, para o estoque de N na pastagem (4,36 Mg ha⁻¹) e no SAF (4,83 Mg ha⁻¹) não diferem do estoque encontrado para a agricultura e a floresta. Os resultados possibilitam relacionar a profundidade pequena que normalmente os cultivos agrícolas possuem, enquanto a diversificação de estratos e espécies em floresta e mesmo nos SAFs fazem com que estas ocupem nichos diferentes no solo.

A diferença do N observada em profundidade, mas não em superfície pode estar relacionada tanto a deposição de grandes quantidades de material orgânico fresco, no caso da pastagem, SAF e floresta combinada com a adição de fertilizantes nitrogenados, e deposição atmosférica nas áreas de agricultura que também correspondem como uma fonte de adição pool de N do solo, principalmente no pool ativo (SANCHEZ, 2019). Em profundidade, os usos do solo que tiveram menor impacto negativo sobre o manejo, apresentaram melhores condições de conservação observadas pelas diferenças na fração MOam. Isso pode estar relacionado a preservação da estrutura dos agregados, mantendo a MO protegida fisicamente do ataque microbiano o que também é observado na fração particulada, que mesmo não sendo estatisticamente diferentes apresentam estoques maiores que a pastagem e agricultura. Observando apenas o teor ou o estoque das frações da MOS, não é possível compreender toda a dinâmica dos mesmos sobre diferentes usos do solo.

4. CONCLUSÕES

Agricultura apresentou menor teor de N na fração mais estável devido ao manejo do solo com quebra dos agregados e exposição da MOS à mineralização e perdas.

O fracionamento físico da MOS demonstrou que os SAFs e as pastagens são grandes armazenadores de C, sendo a cobertura de superfície e a manutenção dos agregados no solo importantes características que influenciam nos estoques de C e N no manejo do solo.

O fracionamento físico da matéria orgânica permitiu compreender melhor a qualidade da MOS no ambiente atlântico dos municípios de Silva Jardim e Casimiro de Abreu, identificando o SAFs como sistemas interessantes ao sequestro de C e N, nas frações mais estáveis.

Os SAFs se apresentaram como uma boa estratégia de manejo em termos de conservação do solo de ambiente com relevo acidentado, típico do bioma Mata Atlântica, pois é capaz de manter sua qualidade física e os estoques de C e N próximos aos ambientes naturais e assim mantendo seu funcionamento e serviços em níveis equivalentes a áreas naturais.

6. CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS

Os níveis de estabilização da matéria orgânica do solo pode ser um fator que explica os teores e estoques encontrados em função da complexidade do sistema e, em especial, da não perturbação da estrutura física do solo (diminuição do *turnover* de macroagregados). As pastagens por sua vez, tem a proteção da estrutura pela alta densidade de raízes e da qualidade dos pastos.

A complementariedade de nichos, que favorece as relações de facilitação ou redução da competição entre as espécies que crescem nos SAFs, pode ser componente importante para que os resultados fossem encontrados.

O DRES é uma ferramenta para ser aplicadas em novos estudos, com outras características do solo e, também, em ambientes diversificados para que mais dados possam validar a metodologia que possui grande potencial na comparação entre diversos sistemas de uso e manejo do solo.

Essa metodologia pode ser indicada como uma ferramenta de fácil acesso para avaliação da qualidade do solo na prática da assistência técnica e extensão rural além da própria utilização pelos agricultores e proprietários rurais.

O SAF é uma forma de ocupação antrópica do solo que pode contribuir para sua conservação podendo sua implantação ser promovida para os ambientes historicamente degradados contribuindo, não só para qualidade do solo, bem como para a permeabilidade e fluxo gênico entre fragmentos e remanescentes florestais. Também por isso, indicado para áreas de bordas de unidades de conservação. Os SAFs deveriam ser indicados por meio de políticas públicas, em detrimento de atividades agrícolas, dada sua maior permeabilidade na paisagem, sem perda da renda do produtor. É bem verdade que essa política deve estar associada a outras que permitam e garantam o escoamento e mercado dos produtos.

Sistemas que compartilham o SAF e a pastagem podem ser uma boa alternativa de uso do solo, gerando maior sensibilização para a conservação dos solos nos produtores familiares dos municípios de Casimiro de Abreu e Silva Jardim, que possuem grandes áreas de uso agropecuário.

7. REFERÊNCIAS

- ABREU, P. H. B.; ALONZO, H. A. G. A. Trabalho rural e riscos à saúde: uma revisão sobre o “uso seguro” de agrotóxicos no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 10: pp. 4197-4208, 2014. DOI: 10.1590/1413-812320141910.09342014.
- ALBRECHT, A.; KANDJI, S. T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 99, Issues 1–3, pp. 15-27, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00138-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00138-5).
- ALESSI, N. P.; NAVARRO, V. L. Saúde e trabalho rural: o caso dos trabalhadores da cultura canavieira na região de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**. Rio de Janeiro, v. 13 (Supl. 2): pp. 111-121, 1997.
- ALVES, L. F.; VIEIRA, S. A.; SCARANELLO, M. A.; CAMARGO, P. B.; SANTOS, F. A. M.; JOLY, C. A.; MARTINELLI, L. A. Forest structure and live aboveground biomass variation along an elevational gradient of tropical Atlantic moist forest (Brazil). **Forest Ecology and Management**. v. 260, pp. 679–691, 2010. doi:10.1016/j.foreco.2010.05.023.
- AMÂNCIO, C. O. G. Ambientes de interação agroecológica: ensino, pesquisa e expressões da agroecologia no estado do rio de janeiro. **Embrapa**, Brasília, 2014. (Projeto de Pesquisa)
- ARAÚJO, A. J.; LIMA, J. S.; MOREIRA J. C.; JACOB, S. C.; SOARES, M. O.; MONTEIRO, M. C. M.; AMARAL, A. M.; KUBOTA, A.; MEYER, A.; COSENZA, C. A. N.; NEVES, C.; MARKOWITZ, S. Exposição múltipla a agrotóxicos e efeitos à saúde: estudo transversal em amostra de 102 trabalhadores rurais, Nova Friburgo, RJ. **Ciência & Saúde Coletiva**. V. 12, n.1: pp. 115-130, 2007.
- ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R.; OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta amazônica**. v. 41 n. 1, pp. 103 – 114, 2011.
- ARAUJO, Q. R.; LOUREIRO, G. A. H. A.; SANTANA S. O.; BALIGAR V. C. Soil classification and carbon storage in cacao agroforestry farming systems of Bahia, Brazil. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 32, n. 6, pp. 625-647, 2013. DOI:10.1080/10549811.2013.799037.
- AUGUSTO, L. G. S.; CARNEIRO, F. F.; PIGNATI, W.; RIGOTTO, R. M.; FRIEDRICH, K.; FARIA, N. M. X.; BÚRIGO A. C.; FREITAS, V. M. T.; GUIDUCCI, E. orgs. Dossiê Abrasco: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde 2ª Parte. Rio de Janeiro: **Abrasco**, 2012.
- BAGGIO, A. A.; MEDRADO, M. J. S. Sistemas agroflorestais e biodiversidade. In: **Seminário [sobre] sistemas agroflorestais e desenvolvimento sustentável**, campo Grande, 2003. Anais. 1 CD-ROM. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2003.
- BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; FILHO, L. C. I. O.; ALVES, M. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 7: pp. 119-170, 2011.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis. pp. 9-26, 1999.

BAYER, C., MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, pp. 599-607, 2000.

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**, v. 39, n. 7, pp. 677-683, 2004.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till, **Soil and Tillage Research**. v. 86, n. 2, pp. 237-245, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.02.023>.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais subtropicais**. SANTOS, G. A. *et al.* (Eds.), 2 ed. Porto Alegre. Metrópole, pp. 7-18, 2008.

BENITES, V. M.; MOUTTA, R. O.; COUTINHO, L. C.; BALIEIRO, F. C. Análise discriminante de solos sob diferentes usos em área de Mata Atlântica a partir de atributos da matéria orgânica. **Revista Árvore**, Viçosa, MG. v. 34, n. 4, pp. 685-690, 2010.

BODDEY, R. M., JANTALIA, C. P., MACEDO, M. O., OLIVEIRA, O. C. d., RESENDE, A. S., ALVES, B. J. R., URQUIAGA, S. Potential of Carbon Sequestration in Soils of the Atlantic Forest Region of Brazil. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, E. (Eds.), **Carbon Sequestration in Soils of Latin America**. Food Products Press, New York, 2006.

BONAN, G. B.; DONEY, S. C. Climate, ecosystems, and planetary futures: The challenge to predict life in Earth system models. **Science**, v. 359 n. 6375, 9 p. 2018. doi:10.1126/science.aam8328.

BRASIL. Lei n. 11.428, 22 de dez. de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 246, p. 1, dez. 2006.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v. 56, pp. 777-783, 1992.

CARNEIRO, F. F.; PIGNATI, W.; RIGOTTO, R. M.; AUGUSTO, L. G. S.; RIZOLLO, A.; MULLER, N. M.; ALEXANDRE, V. P.; FRIEDRICH, K.; MELLO, M. S. C. orgs. Dossiê Abrasco: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde 1ª Parte. Rio de Janeiro: **Abrasco**, 2012.

CERRI, C. E. P.; PAUSTIAN, K.; BERNOUX, M.; VICTORIA, R. L.; MELLILO, J. M.; CERRI, C. C. Modeling changes in soil organic matter in Amazon forest to pasture conversion with the Century model. **Global Change Biology**, Oxford, v. 10, pp. 815-832, 2004.

CONFALONIERI, U. E. C.; CHAME, M.; NAJAR, A.; CHAVES, S. A. M.; KRUG, H.; NOBRE, C.; MIGUEZ, J. D. G.; CORTESÃO, J. HACION, S. Mudanças Globais e Desenvolvimento: importância para a saúde. **Informe Epidemiológico do SUS**. V. 11, n. 3: pp. 139 – 154, 2002.

CARVALHO, F. A.; BRAGA, J. M. A.; NASCIMENTO, M. T. J. Tree structure and diversity of lowland Atlantic forest fragments: comparison of disturbed and undisturbed remnants. **Journal of Forestry Research**. v. 27, n. 3, pp. 605–609, 2015. 10.1007/s11676-015-0165-2.

CASTRO, A.P.; FRAXE, T. J.; SANTIAGO, J. L.; MATOS, R.B.; PINTO, I. C. Os sistemas agroflorestais como alternativa de sustentabilidade em ecossistemas de várzea no Amazonas. **Acta Amazonica**, Manaus. v. 39, n.2, pp. 279-288, 2009.

CHAPLIN-KRAMER, R.; P. SHARP, R. P.; MANDLE, L.; SIM, S.; JOHNSON, J.; BUTNAR, I.; CANALS, L. M.; EICHELBERGER, B.; RAMLER, I.; MUELLER, C.; MCLACHLAN, N.; YOUSEFI, A.; KING, H., KAREIVA, P. M. Spatial patterns of agricultural expansion determine impacts on biodiversity and carbon storage. **PNAS**, v. 112, pp. 7402–7407, 2015. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1406485112

CHRISTENSEN, B. T. **Organic matter in soil: structure, function and turnover**. Tjele: DIAS, 95 p. 2000. (DIAS Report. Plant Production, 30).

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. **European Journal of Soil Science**. Oxford, v. 52, pp. 345-353, 2001.

COLLINS, H. P.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T. Characterization of soil organic carbon relative to its stability and turnover. In: PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T.; COLE, C. V. (Ed.). **Soil organic matter in temperate agroecosystems: long-term experiments in North America**. Boca Raton: CRC, pp. 51-72. 1997.

COUTINHO, H.L.C.; NOELLEMEYER, E.; BALIEIRO, F. C.; PINEIRO, G.; FIDALGO, E. C.; MARTIUS, C.; SILVA, C.F. Impacts of Land-use Change on Carbon Stocks and Dynamics in Central-southern South American Biomes: Cerrado, Atlantic Forest and Southern Grasslands. In: BANWART, S. A.; NOELLEMEYER, E.; MILNE, E. (Org.). **Soil Carbon Science, Management and Policy for Multiple Benefits**. 1 ed. Reino Unido: CAB International, v. 71, pp. 244-264. 2014

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; GUILHERME, L.R.G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, pp.179-186, 2004.

DANTAS, M. E. Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro. Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. **Ministério de Minas e Energia**, Brasília: 65 p., 2001.

DENEFF, K.; ZOTARELLI, L.; BODDEY, R. M.; SIX, J. Microaggregate-associated carbon as a diagnostic fraction for management-induced changes in soil organic carbon in two Oxisols. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 39, pp. 1165–1172, 2007.

DIAS, R. Sustentabilidade: origem e fundamentos educação e governança global modelo de desenvolvimento. **Atlas S/A**, 248 p. 2015.

DINIZ, A. R. Estoques de carbono e atributos edáficos em áreas de plantios de seringueira (*Hevea brasiliensis* M. Arg.), mata e pastagem no Estado do Rio de Janeiro. Seropédica: **UFRRJ**, 2015. 99f. Tese (doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2015.

DIRZO, R.; RAVEN, P. H. Global state of biodiversity and loss. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 28, pp. 137-167, 2003. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105532>

DIXON, R. K. Agroforestry system: sources or sinks of greenhouse gases? **Agroforestry System**. v. 31: pp. 99–116, 1995.

DOMINATI, E.; PATTERSON, M.; MACKAY, A. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. **Ecological Economics**, v.69, pp.1858-1868, 2010. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2010.05.002.

DONATO, L.; LIMA, M. G. Distribuição geográfica do sistema agroflorestal na região do Vale do Ribeira. **Geografia (Londrina)**, v.22, n.3. pp. 47-64, set/dez, 2013.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (Eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madisson: ASA/SSSA. pp. 3-21, 1994.

DORAN, J. W. Soil quality and sustainability. In: CRONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **CD-ROM**, Rio de Janeiro: SBCS, 1997.

DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v.15, pp. 3-11, 2000.

FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v. 79, pp. 69-116, 1997.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO; INTERGOVERNMENTAL TECHNICAL PANEL ON SOILS - ITPS. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. **Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils**, Rome, Italy, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015: cómo están cambiando los bosques del mundo?. **Food and Agriculture Organization of the United Nations, Depto. Forestal**, Rome, Italy, 2016.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. The State of the World's Forests 2018 - Forest pathways to sustainable development. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Rome, Italy. 139 p. 2018.

FREITAS, P.L.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROUY; M.C.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 35, pp. 157–170, 2000.

FROUFE, L. C. M.; RACHWAL, M. F. G.; SEOANE, C. E. S. Potencial de sistemas agroflorestais multiestrata para sequestro de carbono em áreas de ocorrência de Floresta

Atlântica. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n 66, p. 143-154, abr./jun. 2011. Doi: 10.4336/2011.pfb.31.66.143.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, período 2016-2017. Relatório Técnico. **Fundação SOS Mata Atlântica e INPE**. São Paulo, SP. 63 p., 2018.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; NAIR, P. K. R.; NAIR, V. D.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BALIGAR, V. C.; MACHADO, R. C. R. Carbon storage in soil size fractions under two cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. **Environmental Management** v. 45, pp. 274–283, 2010.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; NAIR, P. K. R. Soil carbon sequestration in cacao agroforestry systems: a case study from Bahia, Brazil. In: KUMAR, B. M.; NAIR, P. K. R. (Eds.), **Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems**. Advances in Agroforestry 8. Springer, New York, pp. 85–99, 2011.

GOLCHIN, A.; OADES, J. M.; SKJEMSTAD, J. O.; CLARKE, P. Soil structure and carbon cycling. **Australian Journal of Soil Research**. v. 32, pp. 1043-1068, 1994.

GUIMARÃES, R. M. L.; BALL, B. C.; TORMENA, C. A. Improvements in the visual evaluation of soil structure. **Soil Use and Management**. v. 27, pp. 395-403, 2011.

GUIMARÃES, D. V.; GONZAGA, M. I. S.; MELO-NETO, J. O.; REIS, A. F.; LIMA, T. S.; SANTANA, I. L. Qualidade da matéria orgânica do solo e estoques de carbono e nitrogênio em fragmento de Mata Atlântica do município de Neópolis, Sergipe. **Scientia Plena**, v. 8, n. 4, pp. 1-5, 2012.

HAYNES, R. J. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 2, pp. 211-219. 2000 [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00148-0](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00148-0).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa de solos do Brasil**. 2013. Disponível em: < https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm> (Acesso em 03 de jan. 2019)

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Special Report on Emissions Scenarios. **Cambridge University Press**, UK. 2000.

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

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, pp. 118-127, 2008.

JANZEN, H. H. Carbon cycling in earth systems - a soil science perspective. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 104, pp. 399–417. 2004.

JARDIM, I. C. S. F.; ANDRADE, J. A.; QUEIROZ, S. C. N. Resíduos de agrotóxicos em alimentos: uma preocupação ambiental global - Um enfoque às maçãs. **Química Nova**, São Paulo, v. 32 n. 4, pp. 996-1012, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422009000400031>.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforestry Systems**, v. 76, p. 1-10. 2009.

KIRKBY, C. A.; RICHARDSON, A. E.; WADE, L. J.; BATTEN, G. D.; BLANCHARD, C.; KIRKEGAARD, J. A. Carbon-nutrient stoichiometry to increase soil carbon sequestration. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 60, pp. 77-86, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.01.011>.

KIRKBY, C. A.; RICHARDSON, A. E.; WADE, L. J.; PASSIOURA, J. B.; BATTEN, G. D.; BLANCHARD, C.; KIRKEGAARD, J. A. Nutrient availability limits carbon sequestration in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 68, pp. 402-409, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.09.032>.

KIRBY, K. R.; POTVIN, C. Variation in carbon storage among tree species: implications for the management of a small-scale carbon sink project. **Forest Ecology and Management**. v. 246, pp. 208–221, 2007.

LAURANCE, W. F. Conserving the hottest of the hotspots, **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, 2009, 1137 p., <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.10.011>.

LIMA, J. A. S. Estimativas da biomassa acima do solo de florestas secundárias da área de proteção ambiental rio Macacu (RJ) / Jorge Araújo de Sousa Lima. — Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2010. 28 p.

LIMA, C. E. P.; FONTENELLE, M. R.; MADEIRA, N. R.; SILVA, J. da; GUEDES, Í. M. R.; SILVA, L. R. B.; SOARES, D. C. Compartimentos de carbono orgânico em Latossolo cultivado com hortaliças sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.4, p.378-387, abr. 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000400011.

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**, Online. Santa Maria, 2009.

LOSS, A.; RIBEIRO, E. C.; PEREIRA, M. G.; COSTA, E. M. Atributos físicos e químicos do solo em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoril em Santa Teresa, ES. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 5, p. 1347-1357, Sept./Oct. 2014.

LUMBRERAS, J. F.; CARVALHO FILHO, A. de; CALDERANO FILHO, B.; SANTOS, R. D. Levantamento pedológico, vulnerabilidade e potencialidade ao uso das terras: quadrículas de Silva Jardim e Rio das Ostras, Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2001. 1 v. il. color. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa, 23).

MACHADO, L. V.; RANGEL, O. J. P.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, R. V.; FERRARI, J. L. Fertilidade e compartimentos da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 3, p. 289-299, jul./set. 2014.

MAFRA, Á. L.; GUEDES, S. F. F.; KLAUBERG FILHO, O.; SANTOS, J. C. P.; ALMEIDA, J. A.; ROSA, J. D. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 217-224, mar./abr. 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622008000200004>.

- MARQUES, J. D O.; LUIZÃO, F. J.; TEIXEIRA, W. G.; SARRAZIN, M.; FERREIRA, S. J. F.; BELDINI, T. P.; MARQUES, E. M. A. Distribution of organic carbon in different soil fractions in ecosystems of Central Amazonia. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 1, pp. 232-242, feb. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20150142>
- MARTINS, S. C.; SOUSA NETO, E.; PICCOLO, M. C.; ALMEIDA, D. Q. A.; CAMARGO, P. B.; CARMO, J. B.; PORDER, S.; LINS, S. R. M.; MARTINELLI, L. A. Soil texture and chemical characteristics along an elevation range in the coastal Atlantic Forest of Southeast Brazil. **Geoderma Regional**, v 5, pp. 106-116, 2015. ISSN 2352-0094, <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2015.04.005>.
- MARTINS, A. L. S.; et al. Avaliação ex ante do Índice de Qualidade Participativo do Plantio Direto (IQP) com produtores do Centro-Sul do Brasil. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**. 52 p., 2018.
- MAY, P. H. & TROVATTO, C. M. M. Manual agroflorestal para a Mata Atlântica. **MDA**, Brasília, DF, 196 p. 2008.
- MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais subtropicais**. SANTOS, G. A. et al. (Eds.), 2 ed. Porto Alegre. Metrópole, p. 7-18, 2008.
- MINISTÉRIO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, MCTI. Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil. **MCTI**, 4ª ed. p. 76, 2013.
- MITTERMEIER, R.A.; FONSECA, G.A.B.; RYLANDS, A.B.; BRANDON, K. A brief history of biodiversity conservation in Brazil. **Conservation Biology**, v. 19, pp. 601-607, 2005.
- MONROE, P.; GAMA-RODRIGUES, E.; GAMA-RODRIGUES, A.; MARQUES, J. R. B. Soil carbon stocks and origin under different cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. n. 221. P. 99-108, 2016. [10.1016/j.agee.2016.01.022](https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.022).
- MONTAGNINI, F.; NAIR, P. K. R. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems **Agroforestry Systems**, Netherlands, v. 61 p. 281–295, 2004.
- MOTTA, R. S.; HARGRAVE, J.; LUEDEMANN, G.; GUTIERREZ, M. B. S. Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios /eds. **IPEA**, Brasília: 440 p. 2011.
- MUELLER, L.; KAY, B. D.; DEEN, B.; HU, C.; ZHANG, Y.; WOLFF, M.; EULENSTEIN, F.; SCHINDLER, U. Visual assessment of soil structure: Evaluation of methodologies on sites in Canada, China and Germany: Part I: Comparing visual methods and linking them with soil physical data and grain yield of cereals. **Soil & Tillage Research**, v. 103, p.178-187, 2009.
- MYERS. N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403. p. 853–858, 2000. doi:10.1038/35002501.
- NAIR, P. K. R. Directions in tropical agroforestry research: past, present, and future. **Agroforestry Systems**, v. 38, p. 223-245, 1998.

NAIR, P. K. R. Agroecosystem management in the 21st century: it is time for a paradigm shift. **Journal of Tropical Agriculture**, v. 46, p. 1-12, 2008a.

NAIR, P. K. R., GORDON, A. M., MOSQUERA-LOSADA, M. R. Agroforestry, in JORGENSEN, S. E., FATH, B. D. (eds): **Ecological Engineering. Encyclopedia of Ecology**, v. 1, Elsevier, Oxford, U.K., pp. 101-110, 2008b.

NAIR, P. K. R.; KUMAR, B. M.; NAIR, V. D. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 172, p. 10–23, 2009. DOI: 10.1002/jpln.200800030.

NAIR, P. K. R. Agroforestry Systems and Environmental Quality: Introduction. **Journal of Environmental Quality**, v. 40, p. 784–790. 2011. doi:10.2134/jeq2011.0076

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FONTES, M. A. Patterns of Floristic Differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the Influence of Climate1. **Biotropica**. v. 32: pp. 793-810, 2000. doi:10.1111/j.1744-7429.2000.tb00619.x

PAUSTIAN, K.; ANDRÉN, O.; JANZEN, H. H.; LAL, R.; SMITH, P.; TIAN, G.; TIESSEN, H.; VAN NOORDWIJK, M.; WOOMER, P. L. Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. **Soil Use Manage**. v. 13, pp. 1–15, 1997.

PINHEIRO, É. F. M.; LIMA, E.; CEDDIA, M. B.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R. Impact of pre-harvest burning versus trash conservation on soil carbon and nitrogen stocks on a sugarcane plantation in the Brazilian Atlantic forest region. **Plant and Soil**. v. 333, pp. 71–80, 2010.

PINHEIRO, É. 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. pp. 35-39, 2014. 10.1016/j.agsy.2014.08.008.

PRADO, R. B. et al. Current overview and potential applications of the soil ecosystem services approach in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** (1977. Imprensa), v. 51, p. 1021-1038, 2016.

PRIMAVESI, A. C. P. A. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. **Nobel**, São Paulo, 552 p. 2002.

PRIMO, P. B.; VOLCKER, C. M. Bacia Hidrográfica do Rio São João e das Ostras: águas, terras e conservação ambiental. Rio de Janeiro: **Consórcio Intermunicipal para gestão das Bacias Hidrográficas da Região dos Lagos, Rio São João e Zona Costeira**. 177p. 2003.

PEZARICO, C. G.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE F. M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Rev. Cienc. Agrar.**, v. 56, n. 1, p. 40-47, jan./mar. 2013. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2013.004>

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. 2018. URL <https://www.R-project.org/>.

RALISCH R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C.; MELO, A. S.; SANTI, A.; MARTINS, A. L; S.; BONA, F. D. Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo – DRES [recurso eletrônico]: – Londrina: **Embrapa Soja**, 2017. 64 p. ill. ISSN 2176-2937; 390).

REAY, D. S.; DAVIDSON, E. A.; SMITH, K. A.; SMITH, P.; MELILLO, J. M.; DENTENER, F.; CRUTZEN, P. J. Global agriculture and nitrous oxide emissions. **Nature Climate Change**, v. 2, n. 6, p. 410–416, 2012. doi:10.1038/nclimate1458

RIBEIRO, M. C.; MARTENSEN, A. C.; METZER, J. P.; TABARELLI, M.; SCARANO, F.; FORTIN, M. J. The Brazilian Atlantic Forest: a shrinking biodiversity hotspot. In: ZACHOS, F. E.; HABEL, J. C. (eds) **Biodiversity hotspots: distribution and protection of conservation priority areas**. Springer, Heidelberg, p. 405–434 2011.

RIGOTTO, R. M.; CARNEIRO, F. F.; MARINHO, A. M. C. P.; ROCHA, M. M.; FERREIRA, M. J. M.; PESSOA, V. M.; TEIXEIRA, A. C. A.; SILVA, M. L. V.; BRAGA, L. Q. V.; TEIXEIRA, M. M. O verde da economia no campo: desafios à pesquisa e às políticas públicas para a promoção da saúde no avanço da modernização agrícola. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6: pp. 1533-1542, 2012.

ROCHA, G. P. *et al.* Caracterização e estoques de carbono de sistemas agroflorestais no Cerrado de Minas Gerais. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 7, p. 1197-1203, jul. 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20130804>.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. Fracionamento físico do solo em estudos de matéria orgânica. **Embrapa Agropecuária Oeste-Livros técnicos (INFOTECA-E)**, 2002, 88p.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. Dinâmica da Matéria Orgânica do solo em Sistemas Conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares. **Embrapa Agropecuária Oeste**, Dourados. 1ª ed., 304p. 2006.

ROOS, A. A biodiversidade e a extinção das espécies. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 7, n. 7, p. 1494-1499, 2012.

SAMBUICHI, R. H. R.; OLIVEIRA, M. A. C.; SILVA, A. P. M.; LUEDEMANN, G. A sustentabilidade ambiental da agropecuária brasileira: impactos, políticas públicas e desafios. **Texto para discussão 1782 / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, Brasília: Rio de Janeiro, 2012.

SANCHEZ, P. A.; PALM, C. A.; SZOTT E CUEVAS, L. T.; LAL, R. Organic input management in tropical agroecosystems. In: **Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems**. COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (eds.). University of Hawaii at Manoa, Honolulu, HI, pp. 125–152. 1989.

SANCHEZ, P.A. Soil organic matter. In: SANCHEZ, P.A. (Ed.) **Properties and management of soils in the tropics**. New York: John Wiley, pp.162-183. 1976.

SANCHEZ, P.A. Organic carbon. In: SANCHEZ, P.A. (Ed.) **Properties and management of soils in the tropics**. 2º ed. Cambridge University Press, New York: pp. 259-306. 2019.

SANTOS, F. A. S. Atributos do solo e dinâmica do carbono orgânico do solo em campos de murundus associados ao vale do rio Guaporé, Sudoeste de Mato Grosso. – Cáceres/MT: **UNEMAT**. 88 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Mato Grosso. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, 2013.

- SANTOS, M. C. N.; MELLO, J. M.; MELLO C. R.; ÁVILA L. F. Spatial continuity of soil attributes in an Atlantic forest remnant in range, MG. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 37, n. 1, p. 68-77, jan./fev., 2013.
- SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, pp. 1349-1356, out. 2011.
- SILVA, C. S. da; PEREIRA, M. G.; DELGADO, R. C.; & ASSUNÇÃO, S. A. Spatialization of fractions of organic matter in soil in an agroforestry system in the atlantic forest, brazil. **Cerne**, v. 23 n° 2, pp. 249–256, 2017. <https://doi.org/10.1590/01047760201723022318>
- SILVA, J. L. C.; VIDAL, C. A. S.; BARROS, L. M.; FREITA, F. R. V. Aspectos da degradação ambiental no nordeste do Brasil. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 7, n. 2, p.180-191, abr./jun. 2018.
- SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES B. J. R.; URQUIAGA, U.; 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**, n. 76, p. 39–58, 2004. doi:10.1016/j.still.2003.08.007
- SOUZA, H. N.; GOEDE, R. G. M.; BRUSSAARD, L.; CARDOSO, I. M.; DUARTE, E. M. G.; FERNANDES, R. B. A.; GOMES, L. C.; PULLEMAN, M. M. Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic Rainforest biome. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, n. 146, p 179–196, 2012.
- SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B. A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. **Geoderma**, v. 74 pp. 65-105, 1996.
- TABARELLI, M.; AGUIAR, A. V.; RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; PERES C. A. Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: Lessons from aging human-modified landscapes. **Biological Conservation**, Amsterdam, v. 143, n. 10, p. 2328-2340, out. 2010.
- TAVARES-FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C.; BALBINO, L. C.; NEVES, C. S. V. J. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 23, pp. 393-399, 1999.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia, **UFRGS**, 1995. 188 p. (Boletim Técnico de Solos, 5).
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A; TEIXEIRA, W. G. Eds. Manual de métodos de análise de solo. 3ª ed. rev. e amp. – Brasília, DF: **Embrapa**, 573 p. 2017.
- THOMAZINI, A.; MENDONÇA, E. S.; CARDOSO, I. M.; GARBIN, M. L. SOC dynamics and soil quality index of agroforestry systems in the Atlantic rainforest of Brazil. **Geoderma Regional**, v. 5, pp. 15-24, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2015.02.003>.
- TISTALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**. v. 33, pp. 141- 163, 1982.

TOLEDO M. V.; BARRERA-BASSOLS N. A memória Biocultural: a importância ecológica das sabedorias tradicionais. **AS-PTA/Editora Expressão Popular**, 1ª Ed., 2015, 272p.

TORNQUIST, C. G., HONSB, F. M.; FEAGLEYB, S. E; HAGGARC, J. Agroforestry system effects on soil characteristics of the Sarapiquí region of Costa Rica. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 73, p. 19-28, 1999.

TRUMBORE, S. E.; DAVIDSON, E. A.; CAMARGO, P. B.; NEPSTAD, D. C.; MARTINELLI, L. A. Belowground cycling of carbon in forests and pastures of Eastern Amazonia. **Global Biogeochem. Cycles**, v. 9, p. 515-528, 1995.

TRUMBORE, S.; CAMARGO, P. B. Soil carbon dynamics. Amazonia and global change. **Geophysical Monograph Series 186**, p. 451-462, 2009. DOI: 10.1029/2008GM000741

TSCHARNTKE, T.; CLOUGH, Y.; BHAGWAT, S. A.; BUCHORI, D.; FAUST, H.; HERTEL, D.; HÖLSCHER, D.; JUHRBANDT, J.; KESSLER, M.; PERFECTO, I.; SCHERBER, C.; SCHROTH, G.; VELDKAMP, E.; WANGER, T. C. Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes – a review. **Journal of Applied Ecology**. v. 48, pp. 619-629, 2011. doi:10.1111/j.1365-2664.2010.01939.x

URQUIAGA, S. S.; ALVES, B. J. R.; JANTALIA, C. P.; MADARI, B. E.; MACHADO, P. L. O. A.; BODDEY, M. R. Protocolo para avaliar o potencial de sistemas agrícolas no sequestro de C e acúmulo de N no solo. **Embrapa Agrobiologia. Documentos. 303**. Seropédica, 23 p. 2002 ISSN: 1517-8498

VALLE, T. R. de SÁ. Níveis de degradação de pastagens e qualidade de solo na região, do médio vale do Paraíba do Sul. **UFF**, 2018. 108 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Fluminense, Niterói, 108 p., 2018.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 124p.

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

VIEIRA, S. A.; ALVES, L. F.; DUARTE-NETO, P. J.; MARTINS, S. C.; VEIGA, L. G.; SCARANELLO, M. A.; PICOLLO, M. C.; CAMARGO, P. B.; CARMO, J. B.; NETO, E. C.; SANTOS, F. A. M.; JOLY, C. A.; MARTINELLI, L. A. Stocks of carbon and nitrogen and partitioning between above- and belowground pools in the Brazilian coastal Atlantic Forest elevation range. **Ecology and Evolution**. v. 1(3): p. 421–434, 2011. Doi: 10.1002/ece3.41

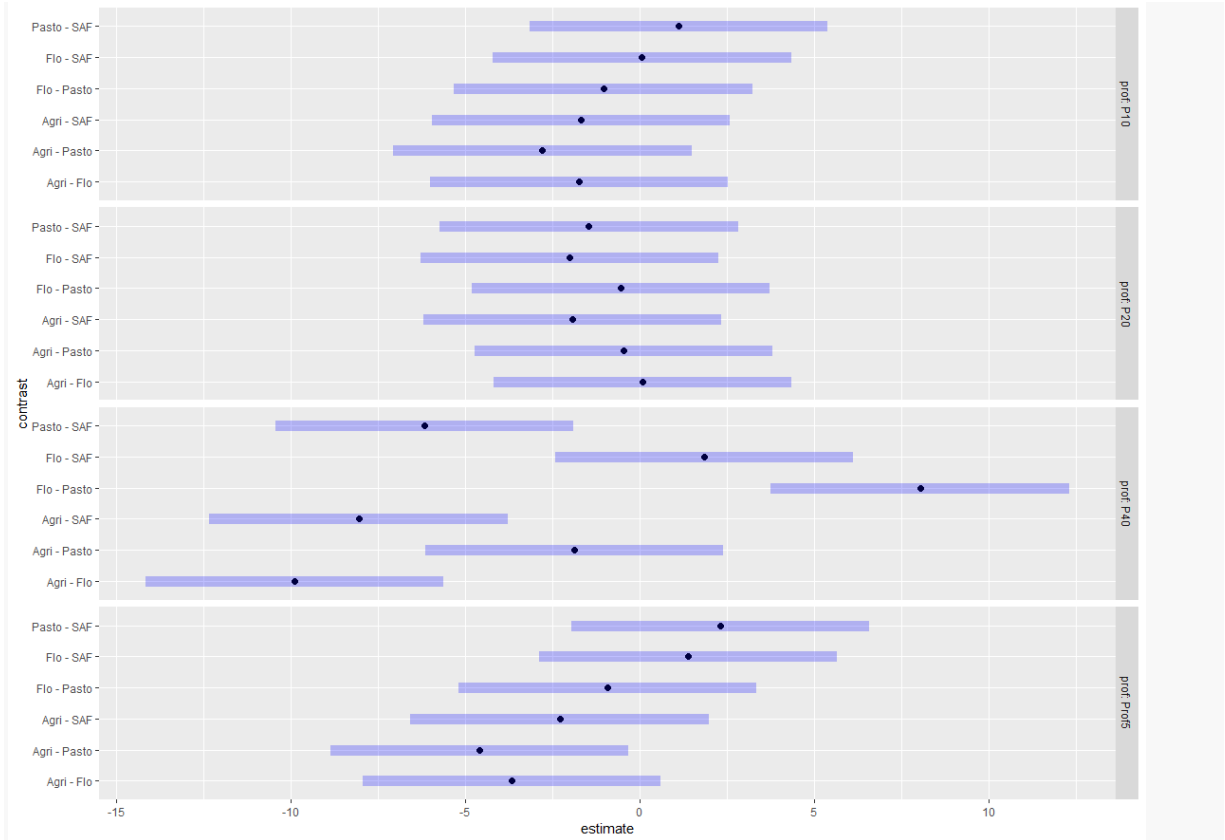
VILLELA, D. M.; DE MATTOS, E. A.; PINTO, A. S.; VIEIRA, S. A.; MARTINELLI, L. A. Carbon and nitrogen stock and fluxes in coastal Atlantic Forest of southeast Brazil: potential impacts of climate change on biogeochemical functioning. **Brazilian Journal of Biology**. v. 72, n.º. 3 (suppl.), p. 633-642 2012. Doi: 10.1590/S1519-69842012000400003.

VILELA, E. F.; MENDONÇA, E. S. Impacto de sistemas agroflorestais sobre a matéria orgânica do solo: modelagem de carbono e nitrogênio. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 3, p. 354-363, jul./set. 2013.

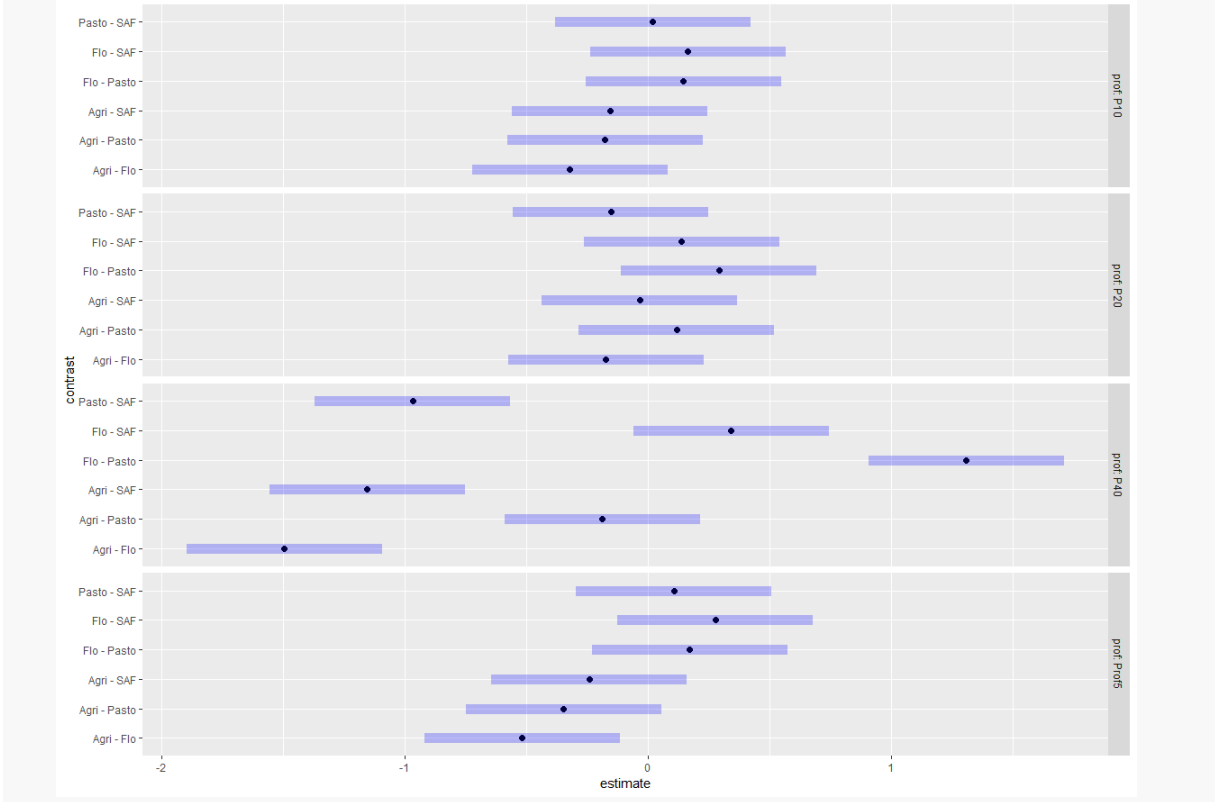
8. ANEXOS

A. Gráficos TFSA

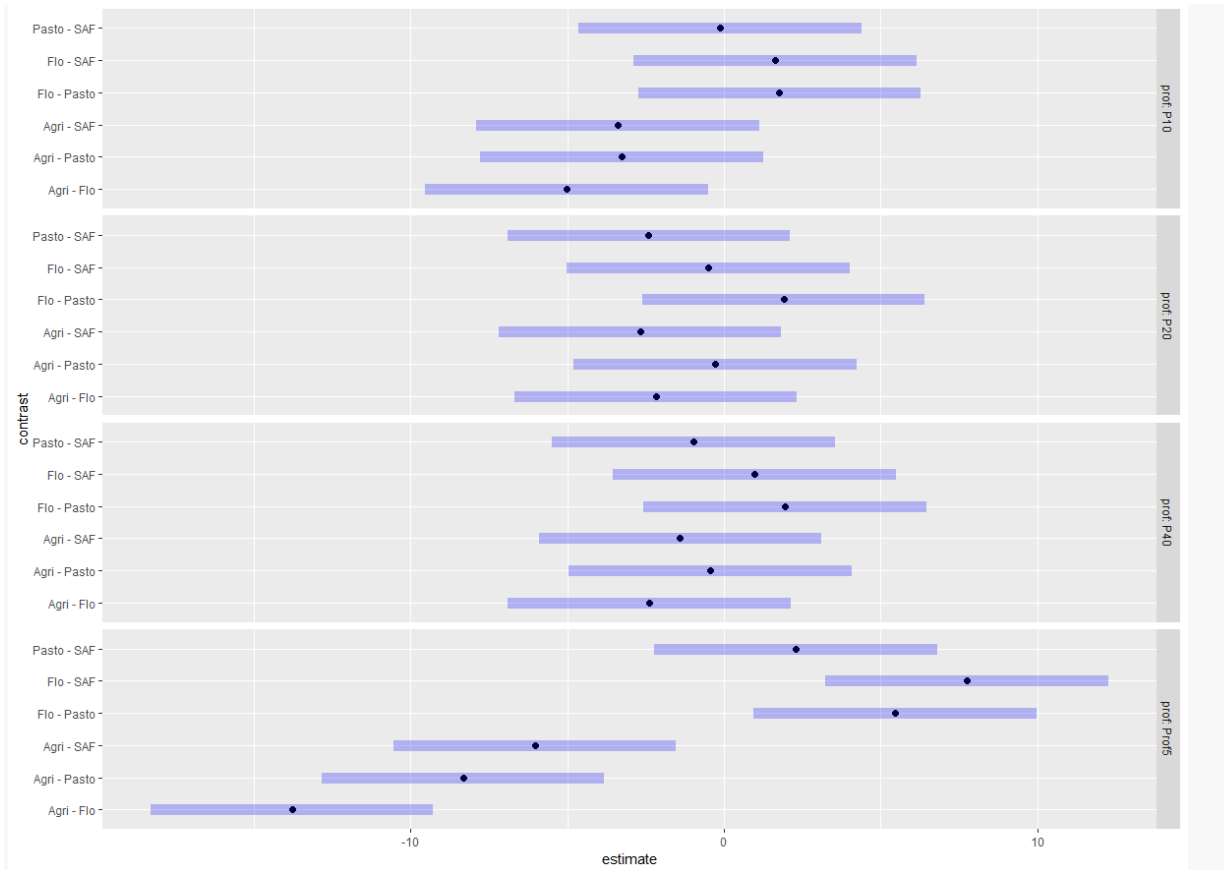
- Estoque de C



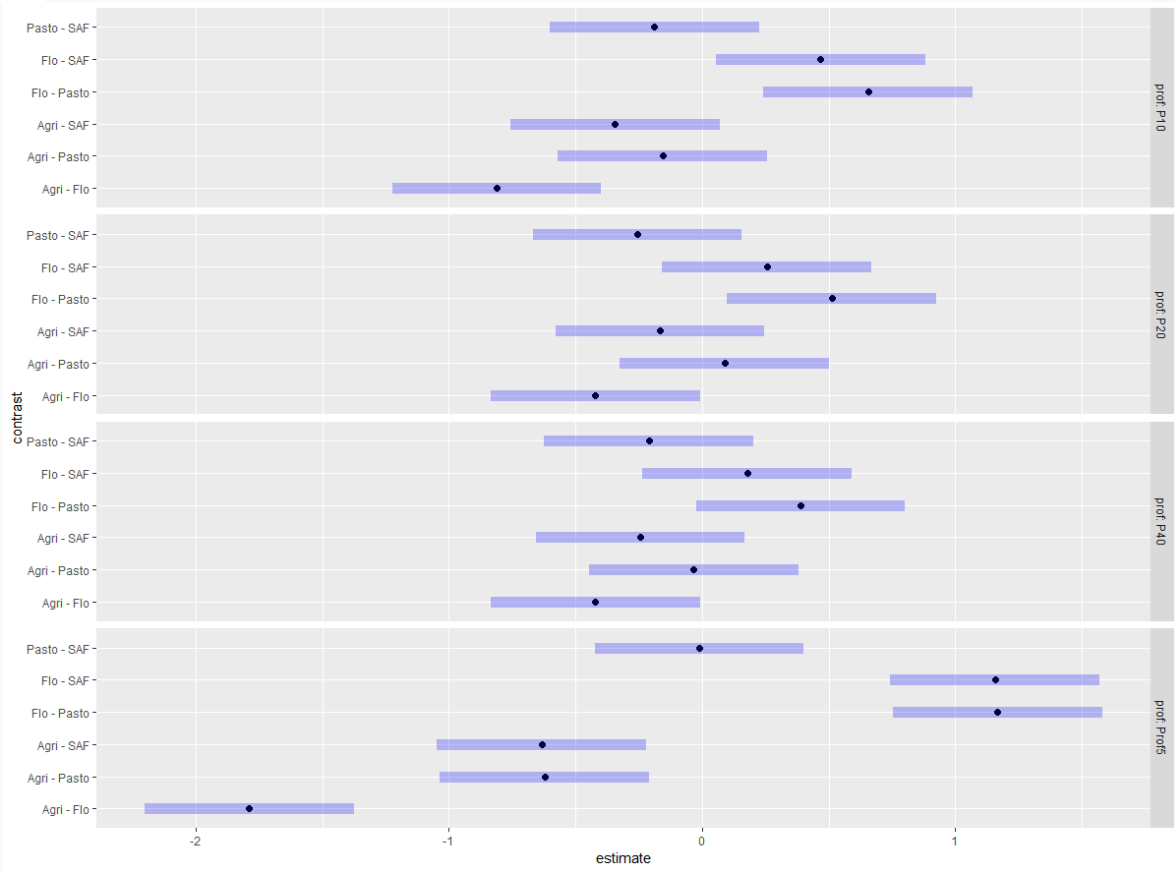
- N estoque



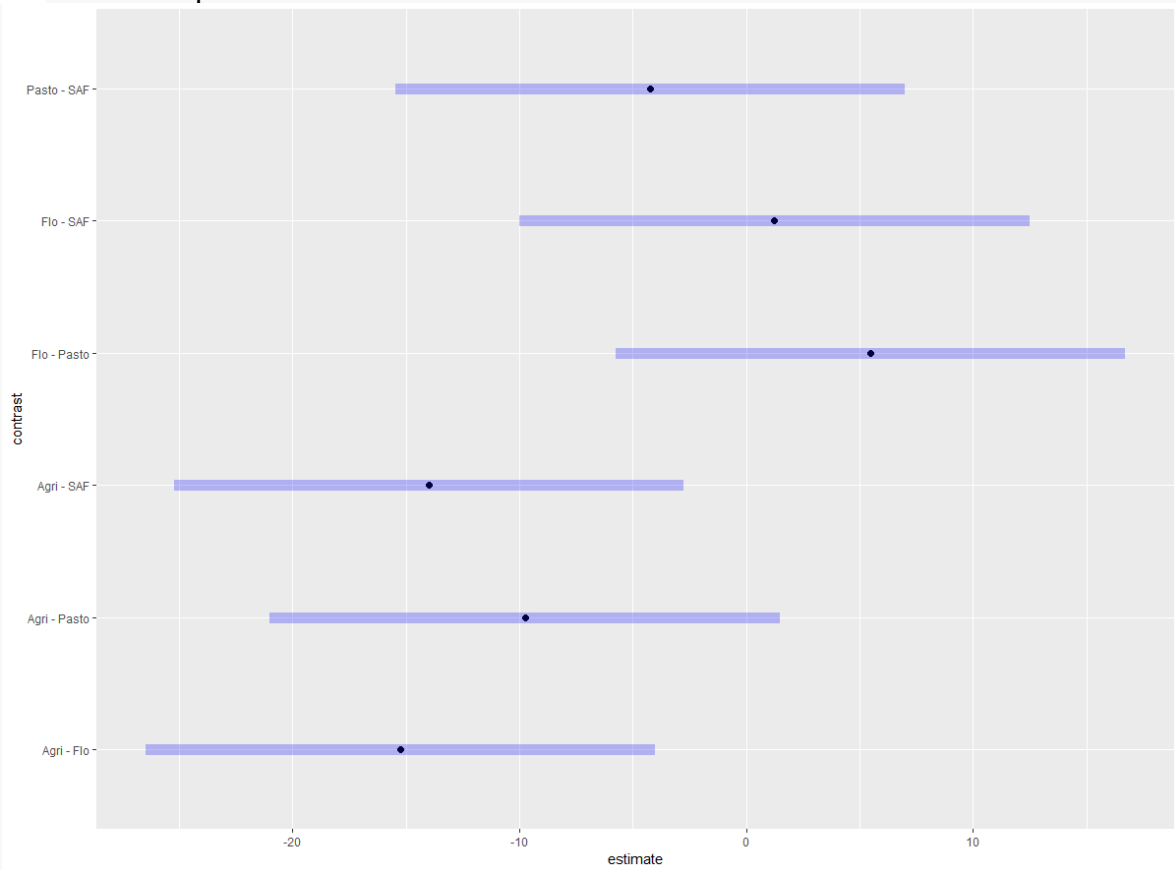
- C teor



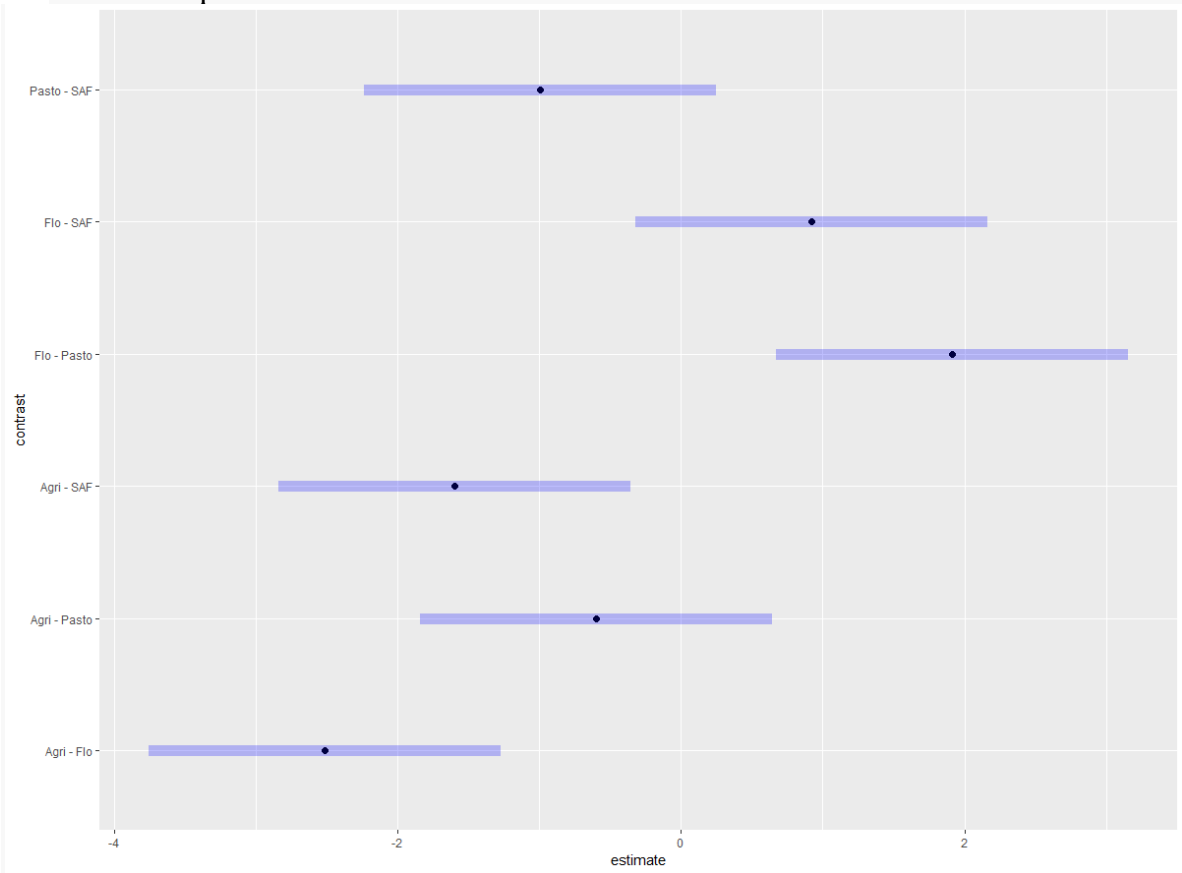
● N teor



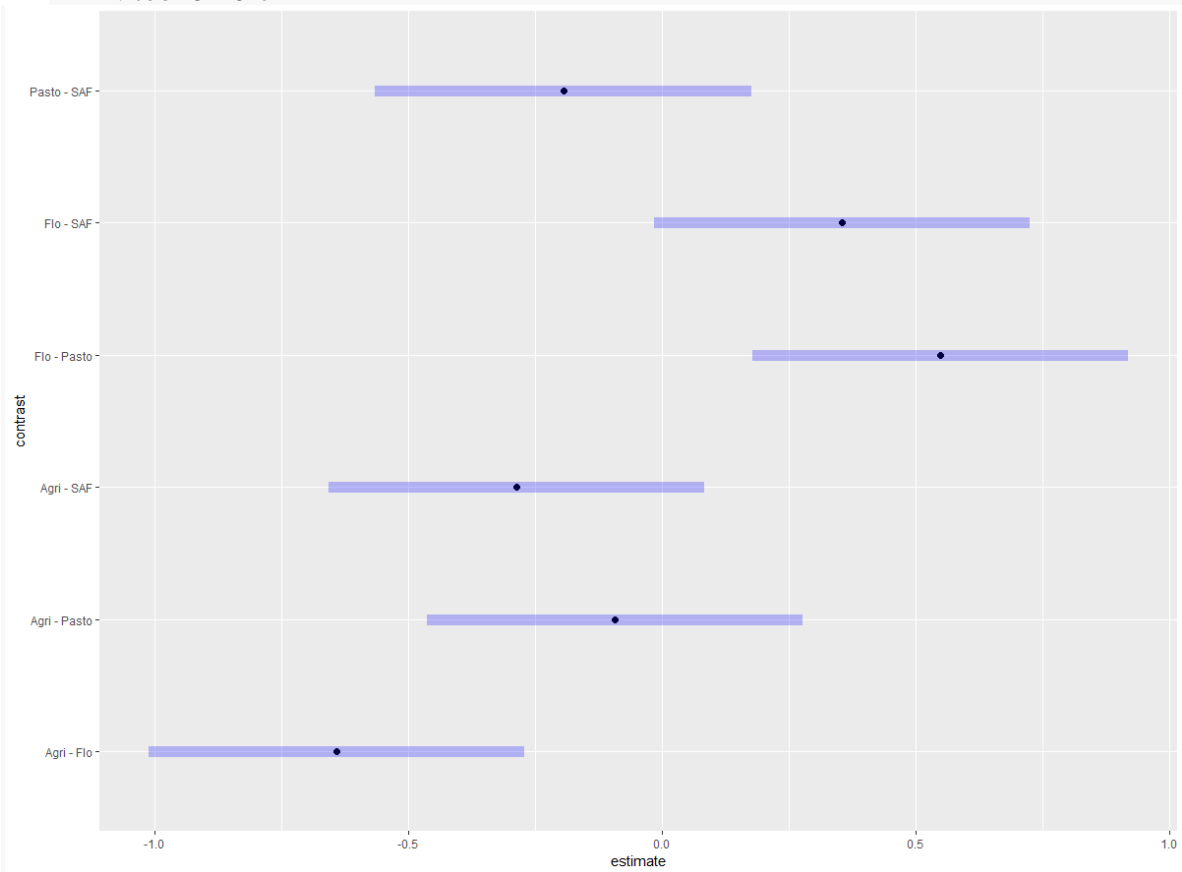
● C Estoque 0-40 cm



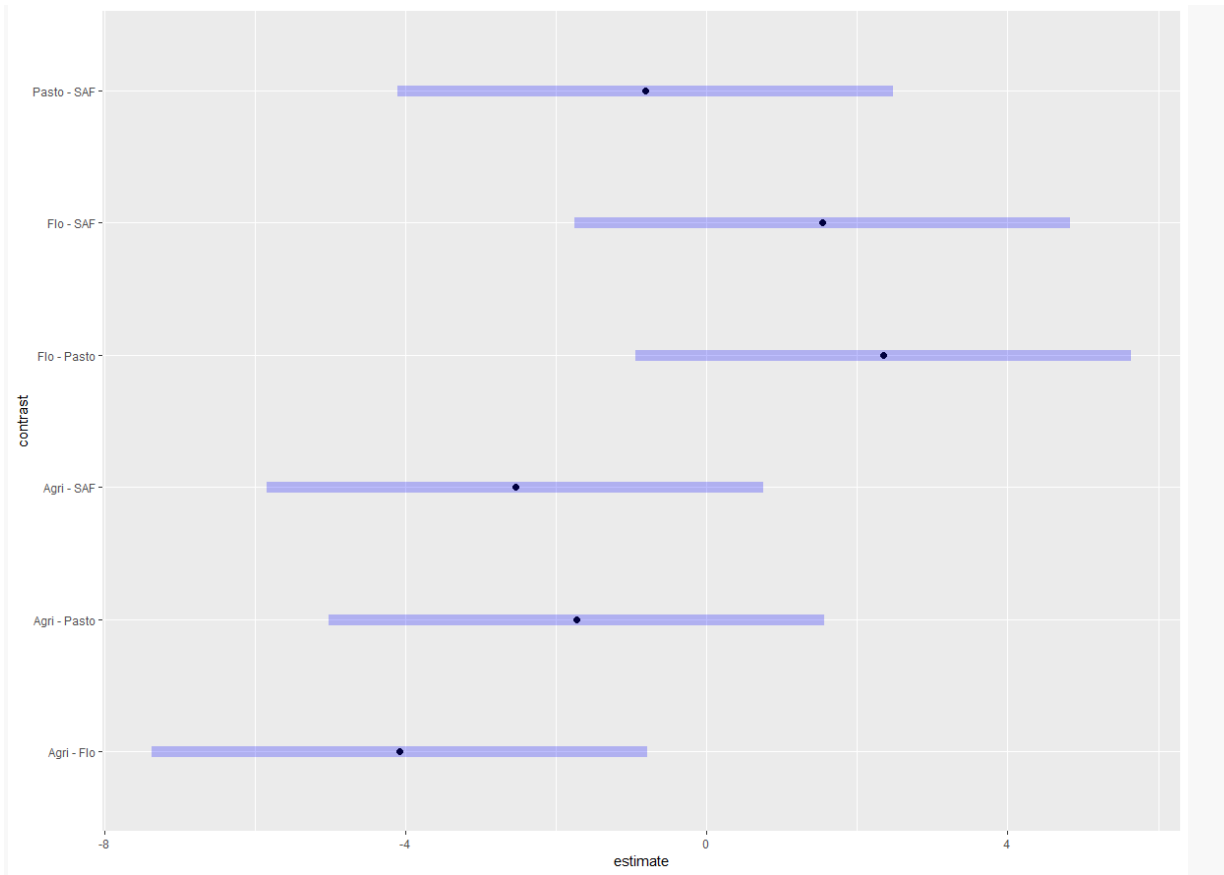
● N Estoque 0-40 cm



● N teor 0-40 cm

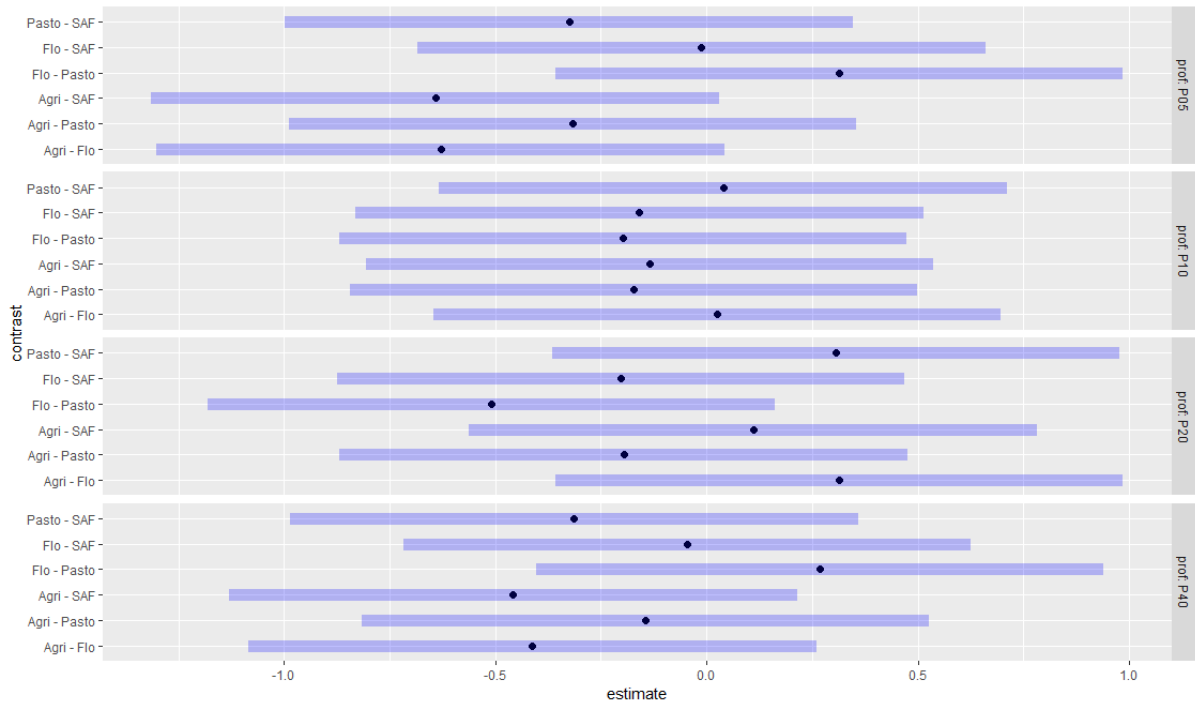


- C teor 0-40 cm

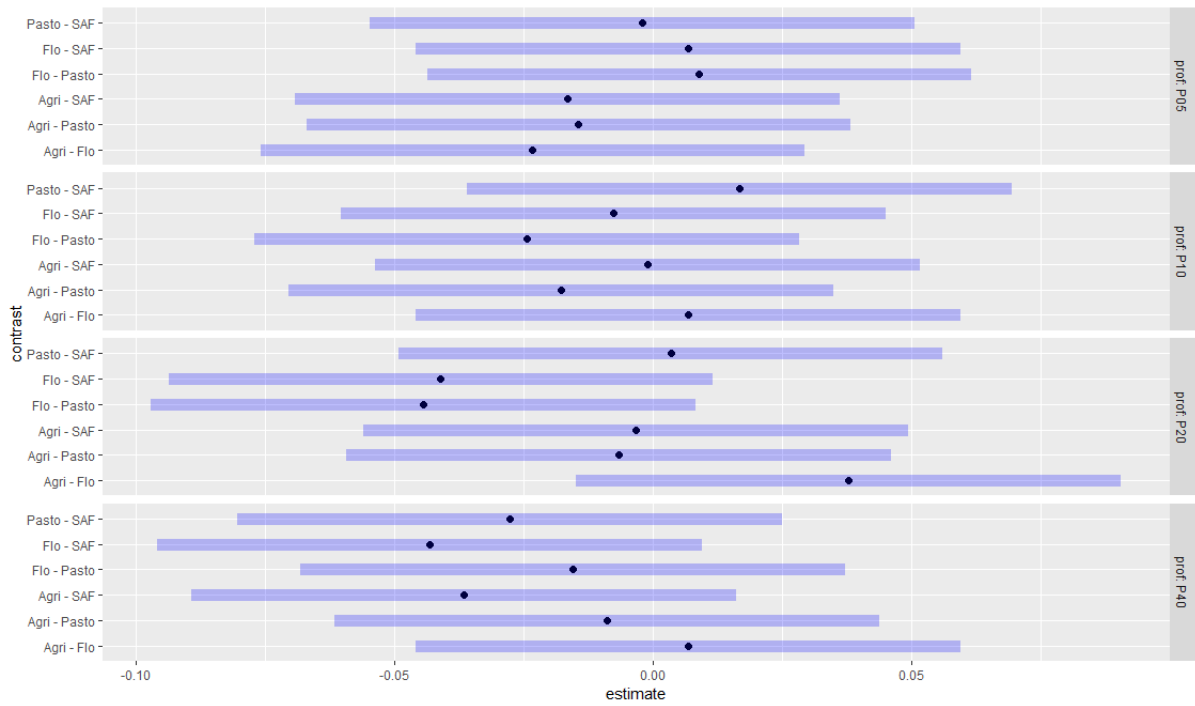


B. Gráficos MOp

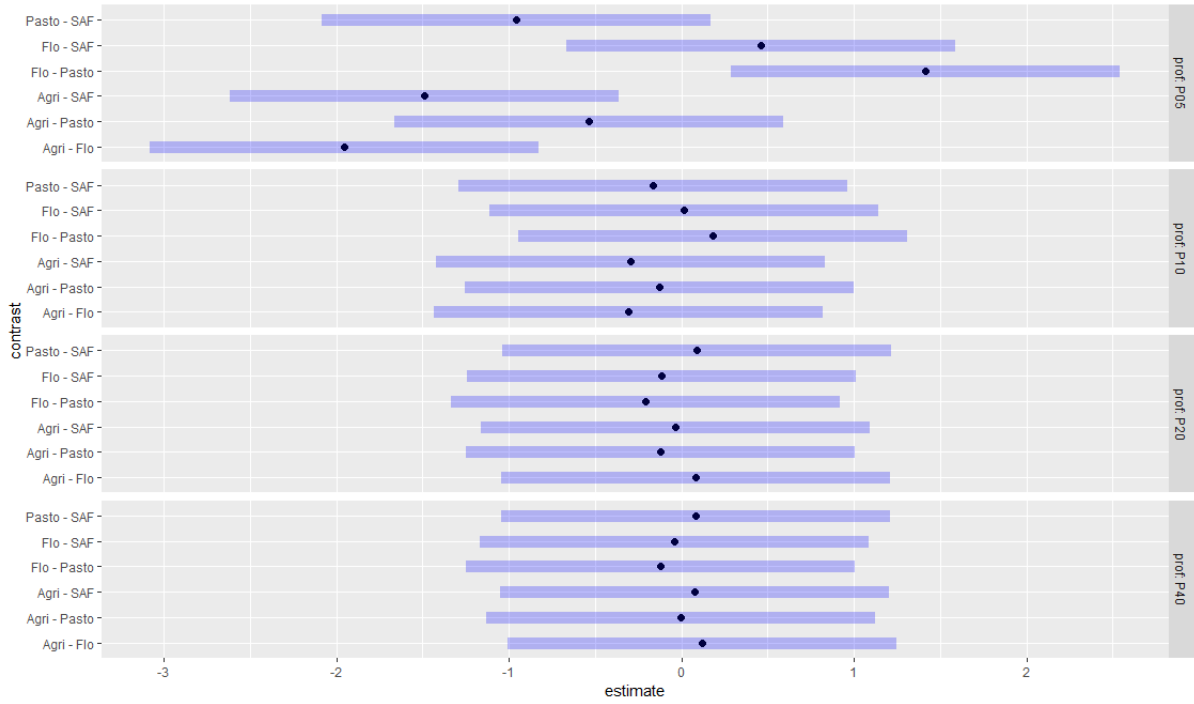
• C Estoque



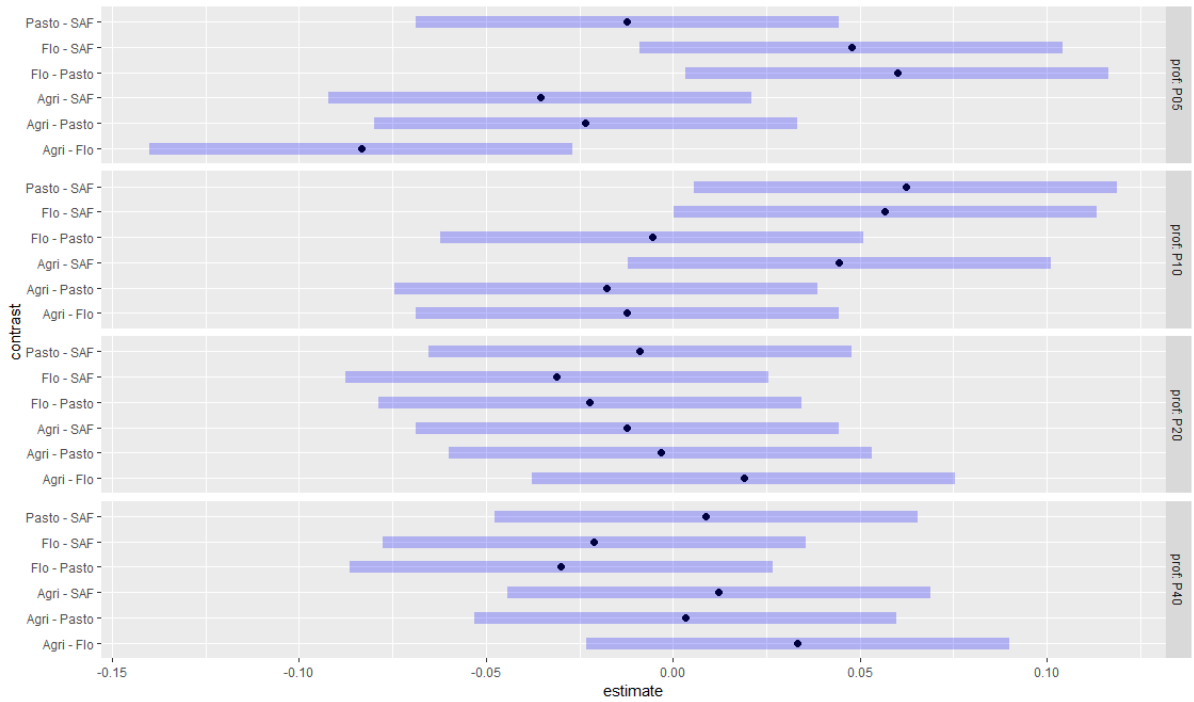
• N Estoque



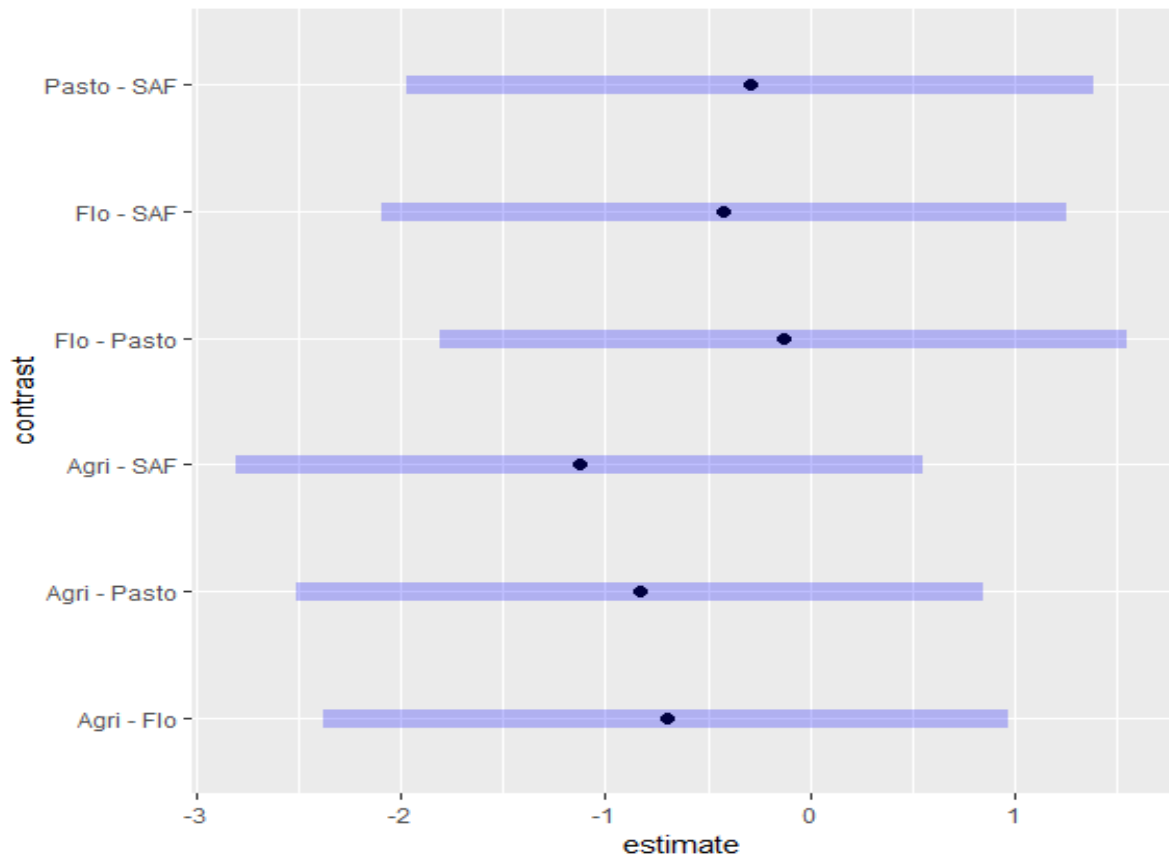
- C teor



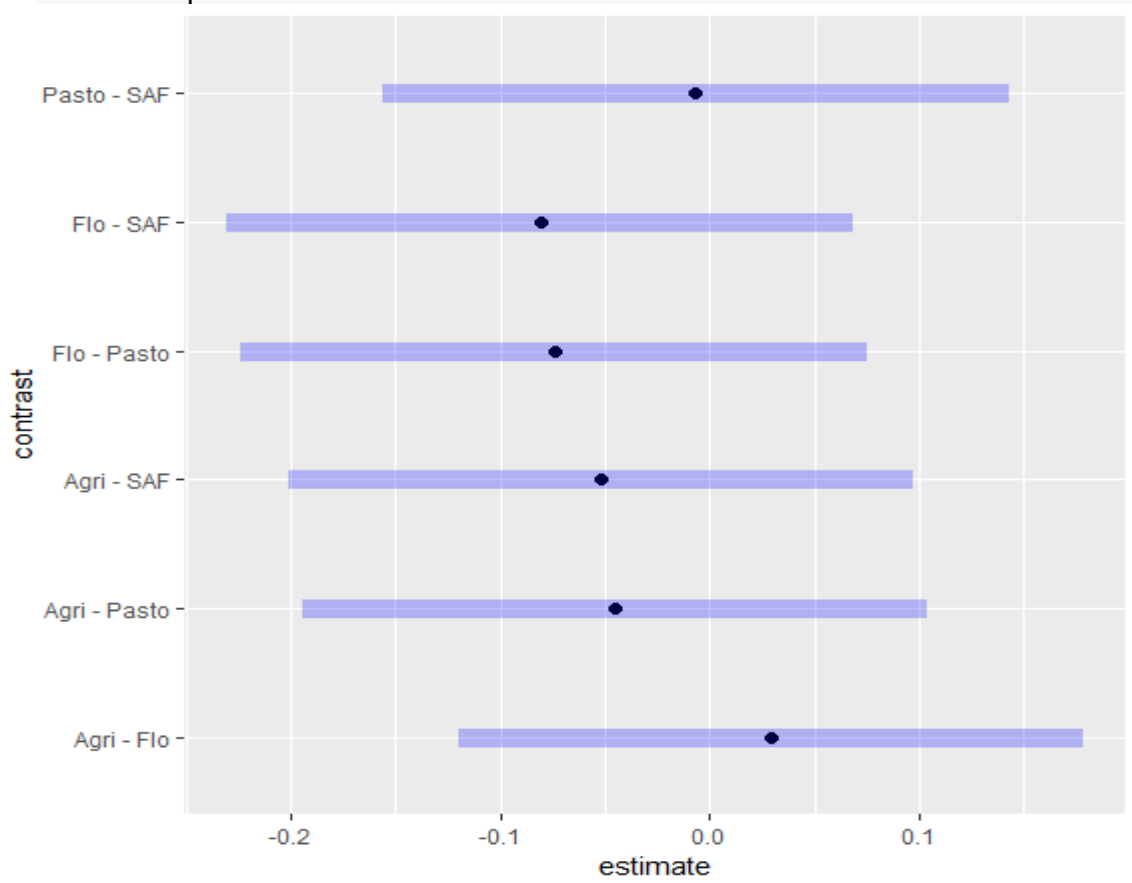
- N teor



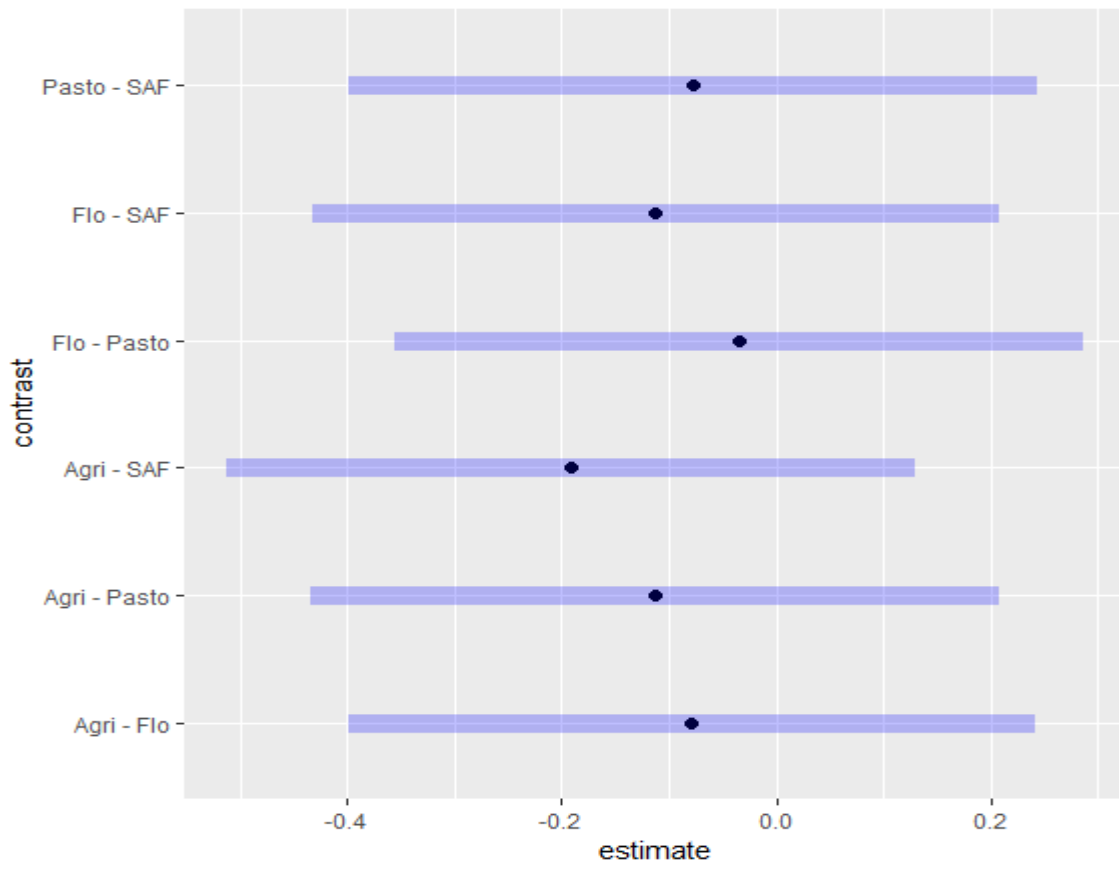
- C Estoque 0-40 cm



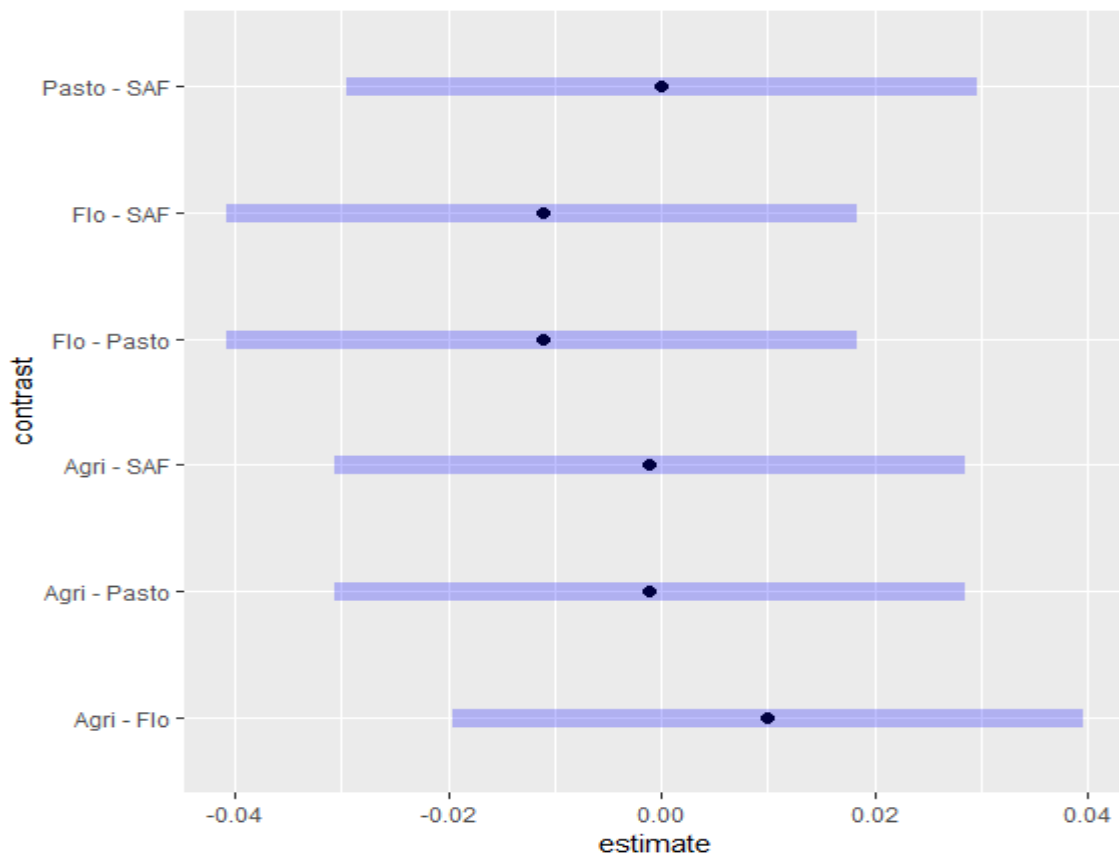
- N Estoque 0-40 cm



- C teor 0-40 cm

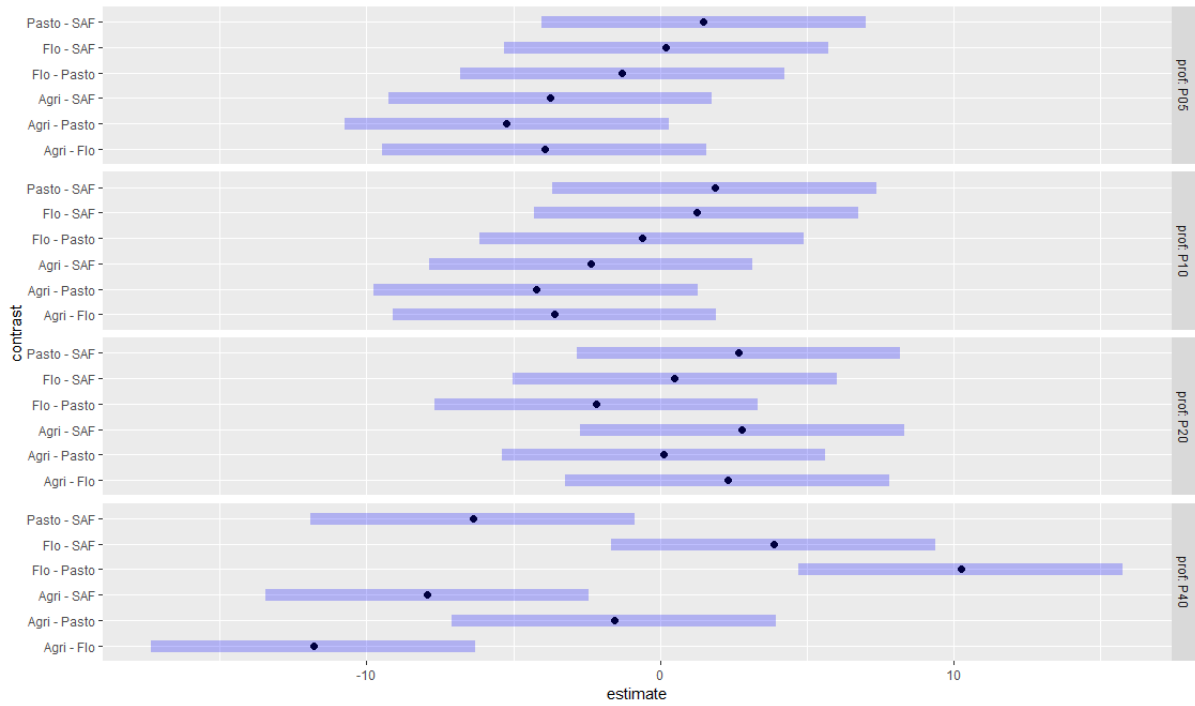


- N teor 0-40 cm

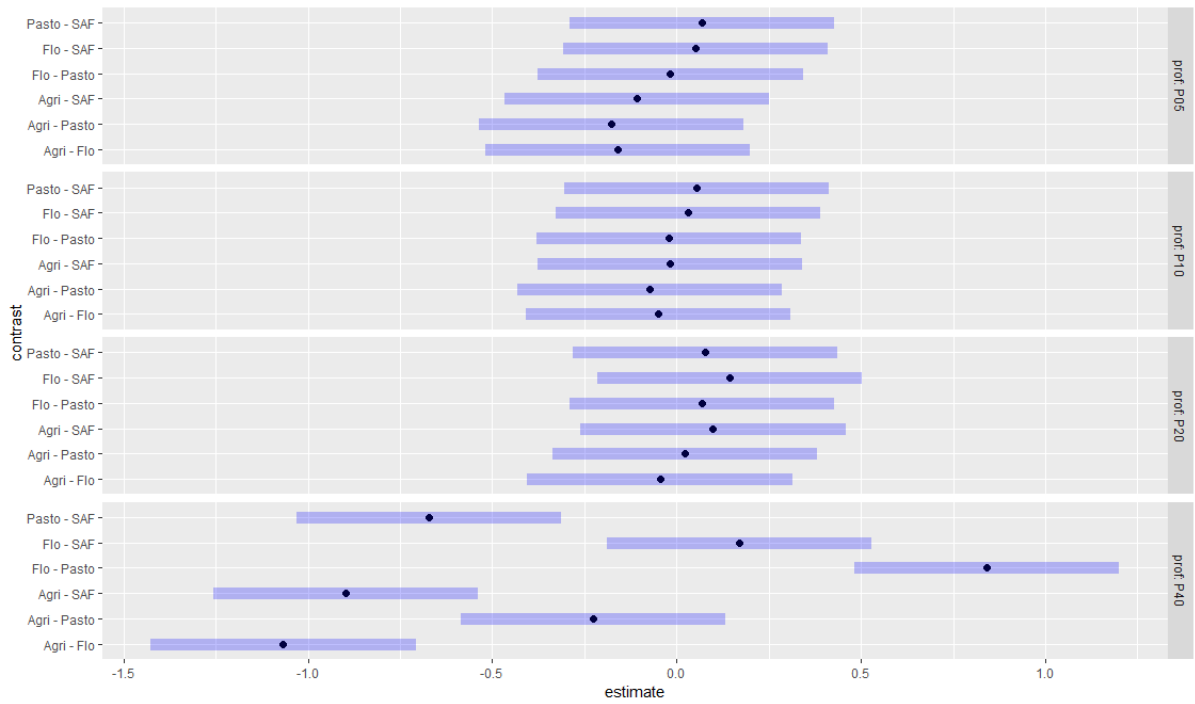


C. Gráficos MOam

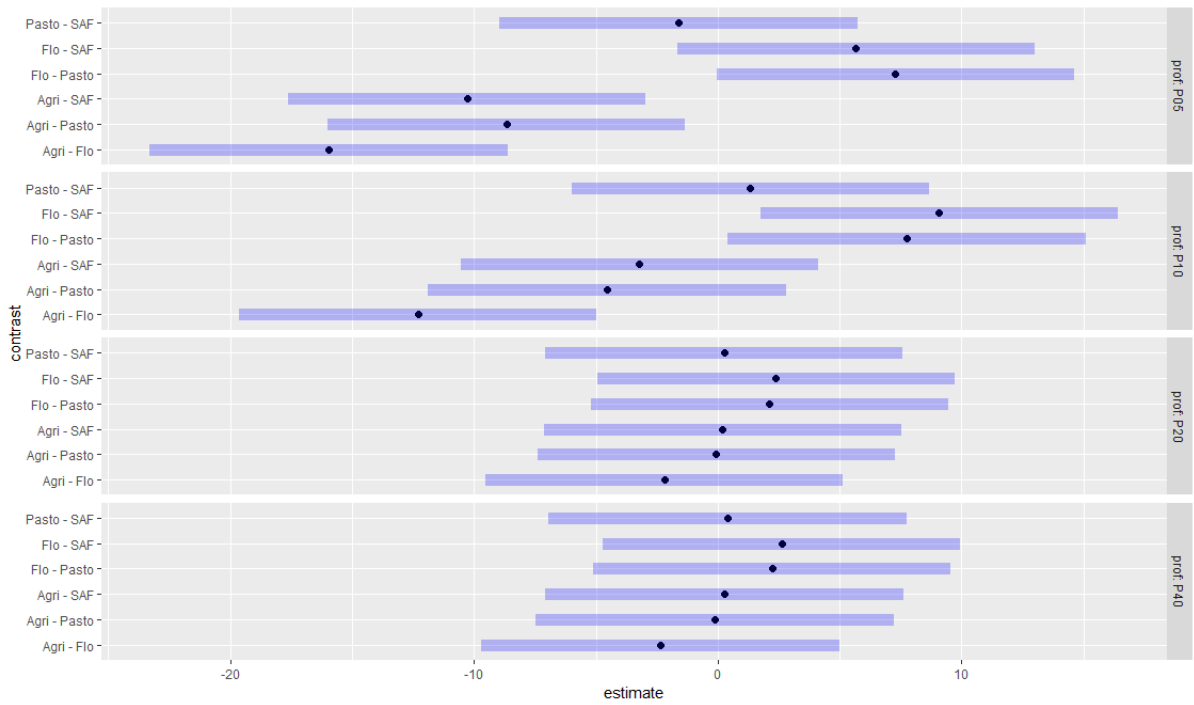
- C estoque



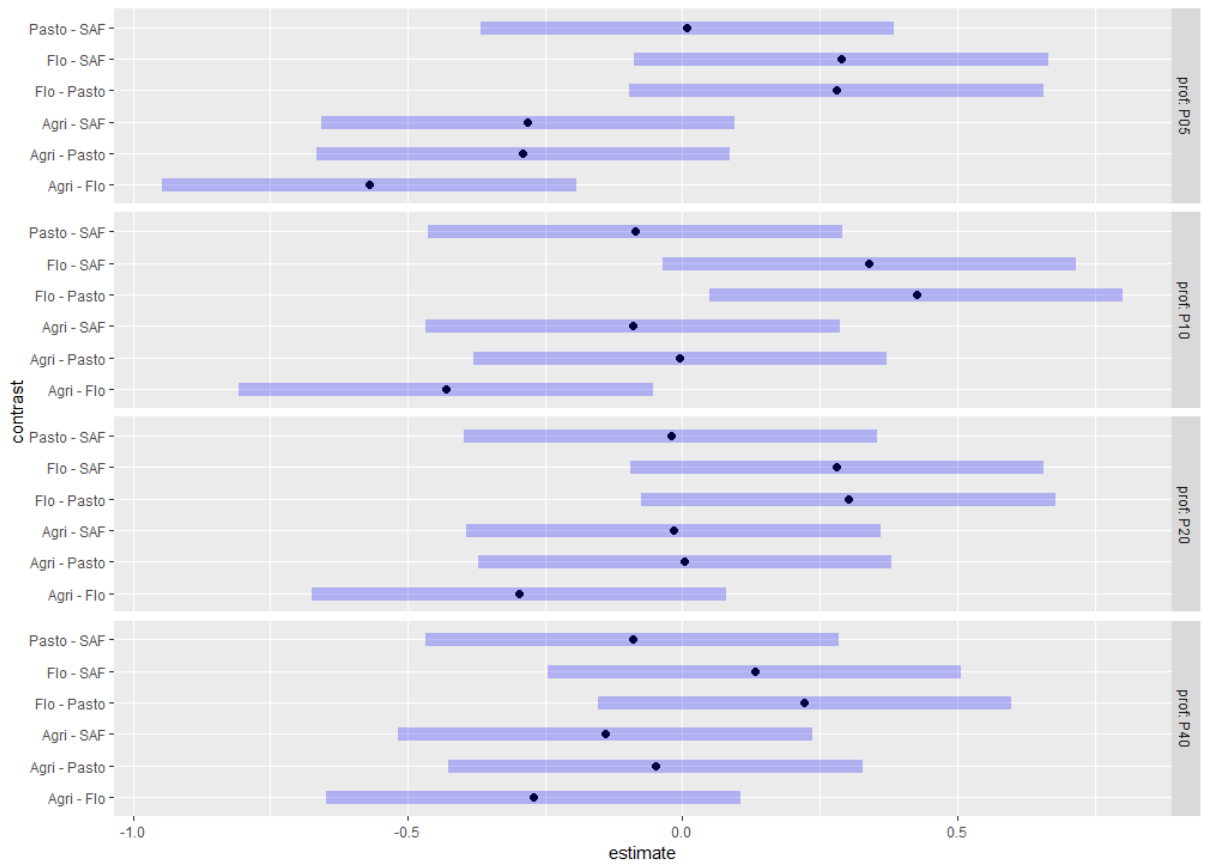
- N estoque



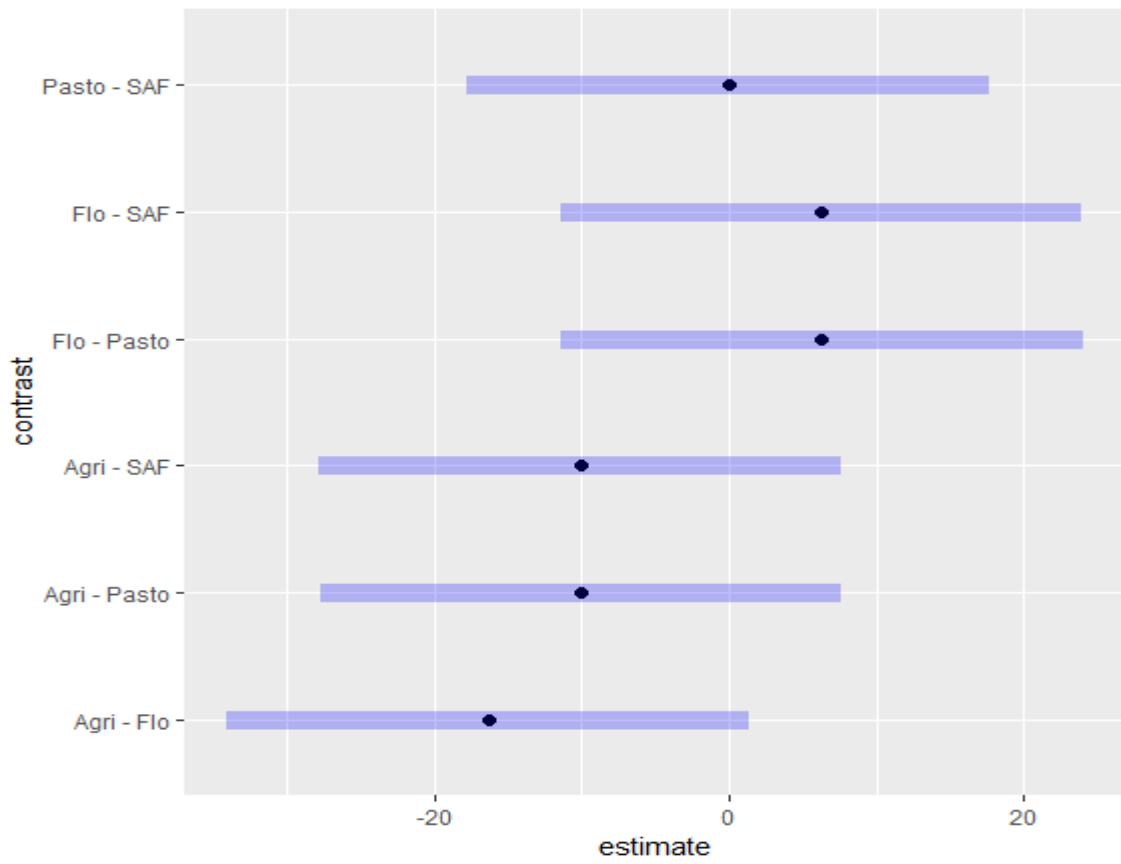
- C teor



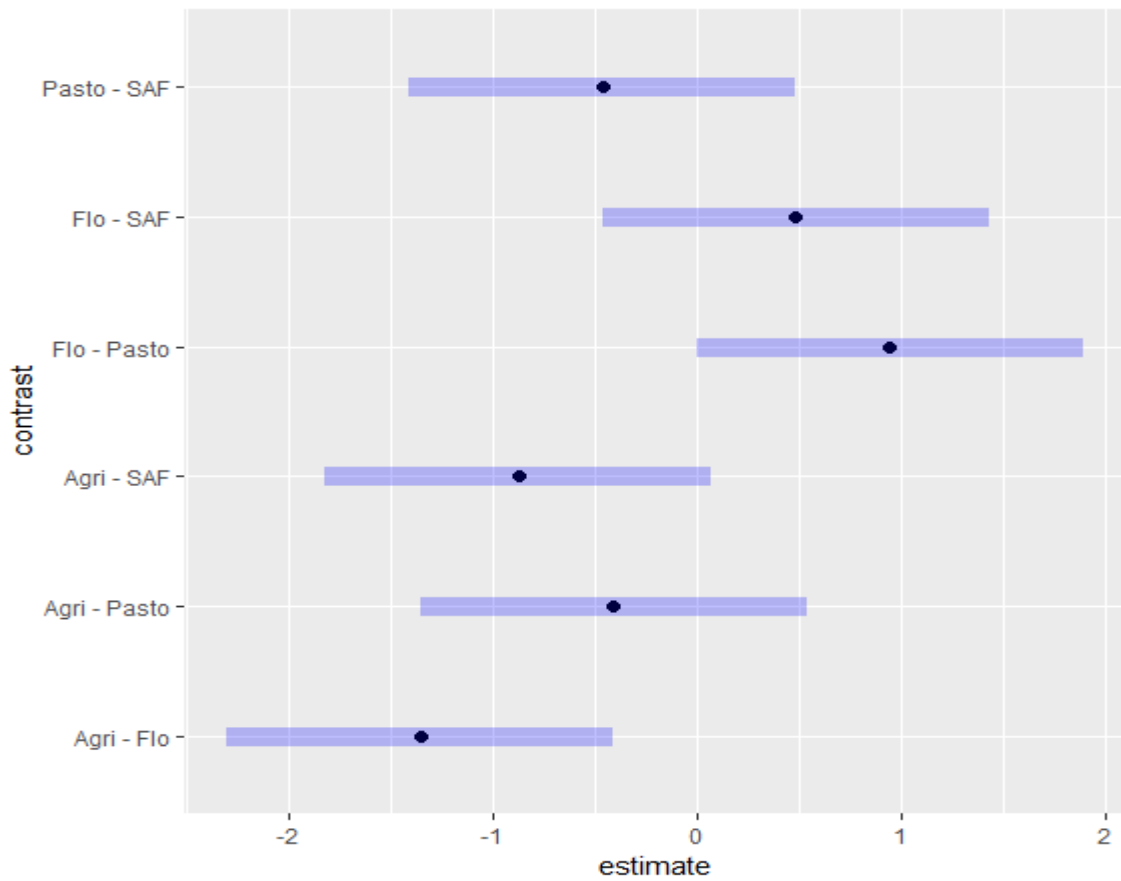
- N teor



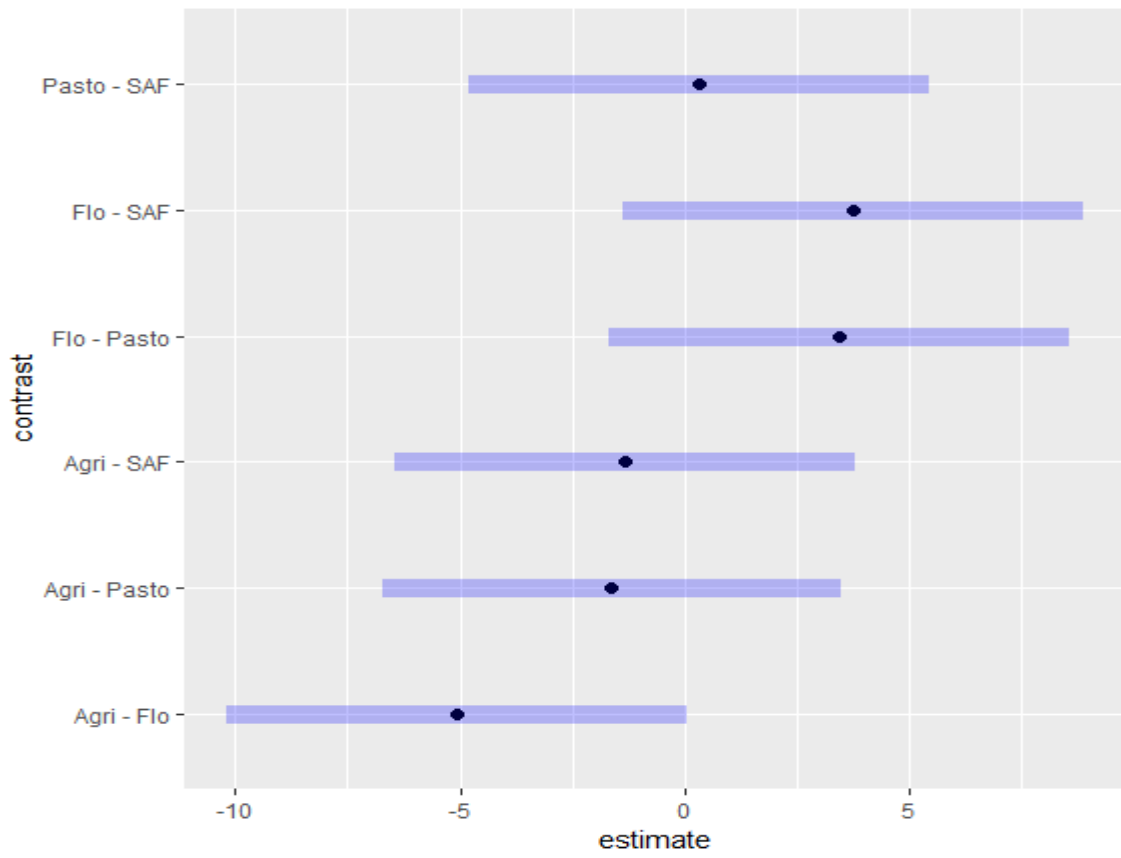
- C estoque 0-40 cm



- N estoque 0-40 cm



- C teor 0-40 cm



- N teor 0-40 cm

