

UFRRJ

**INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO**

DISSERTAÇÃO

**Agregados do Solo como Indicadores de Qualidade
em Área de Agricultura Orgânica em Solos Frágeis
da Baixada Fluminense, RJ**

Tiago Paula da Silva

2023



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

AGREGADOS DO SOLO COMO INDICADORES DE QUALIDADE EM
ÁREA DE AGRICULTURA ORGÂNICA EM SOLOS FRÁGEIS DA
BAIXADA FLUMINENSE, RJ

TIAGO PAULA DA SILVA

Sob a Orientação do Professor

Marcos Gervasio Pereira

e Coorientação da Professora

Irene da Silva Coelho

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, Área de Concentração em Manejo do Solo e Qualidade Ambiental.

Seropédica, RJ
Agosto de 2023

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

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

S586a	<p>Silva, Tiago Paula da, 1997- Agregados do solo como indicadores de qualidade em área de agricultura orgânica em solos frágeis da Baixada Fluminense, RJ / Tiago Paula da Silva – Seropédica, 2023. 72 f.: il.</p> <p>Orientador: Marcos Gervasio Pereira. Coorientadora: Irene da Silva Coelho Dissertação (Mestrado). – – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, 2023.</p> <p>1. Sistemas conservacionistas. 2. Sustentabilidade. 3. Carbono orgânico. 4. Vias de formação de agregados. I. Pereira, Marcos Gervasio, 1965-, orient. II. Coelho, Irene da Silva, 1979-, coorient. III. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo. IV. Título.</p>
-------	---

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

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

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – Brasil (FAPERJ). Número do Processo E-26/200.723/2020.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA (CIÊNCIAS DO SOLO)



HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 45 / 2023 - CPGACS
(12.28.01.00.00.00.27)

Nº do Protocolo: 23083.037879/2023-72

Seropédica-RJ, 14 de junho de 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE AGRONOMIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA ? CIÊNCIA DO SOLO

TIAGO PAULA DA SILVA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia ? Ciência do Solo, Área de Concentração em Manejo do Solo e Qualidade Ambiental.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 12/06/2023.

Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ

(Orientador)

Eliane Maria Ribeiro da Silva. Dra. Embrapa

Nivaldo Schultz. Dr. UFRRJ

(Assinado digitalmente em 15/06/2023 08:19)

MARCOS GERVASIO PEREIRA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptS (12.28.01.00.00.00.33)
Matrícula: 1060711

(Assinado digitalmente em 19/06/2023 14:33)

NIVALDO SCHULTZ
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptS (12.28.01.00.00.00.33)
Matrícula: 2136627

(Assinado digitalmente em 17/07/2023 12:07)

ELIANE MARIA RIBEIRO DA SILVA
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 511.084.027-04

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **45**, ano: **2023**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**, data de emissão: **14/06/2023** e o código de verificação: **62c26e4f4c**

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais Jose Antonio e Helena, aos meus irmão Jose Paulo e Diego.
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por todas as bênçãos concedidas e por sempre me proporcionar o necessário, para que enfim conclui-se essa etapa.

À minha família, principalmente meus pais Jose Antonio Paula da Silva e Helena da Silva Paula, assim como meus irmãos Jose Paulo da Silva e Diego Paulo da Silva, estes que sempre me apoiaram, em momentos de dificuldade e mesmo de longe ajudaram a alcançar meus objetivos. Pai, obrigado pelo apoio incondicional, pelas palavras de conforto e incentivo para que eu nunca desistisse de meus sonhos. Mãe, obrigado pelas palavras ternas, pelas orações e as cobranças, as quais me mantiveram consciente do meu ser.

Agradeço ao meu orientador Marcos Gervasio Pereira, pela incomensurável contribuição no desenvolvimento deste trabalho. Obrigado principalmente pela paciência, confiança, respeito e por acreditar em meu potencial. Por sempre estar disposto a ajudar, sendo uma inspiração profissional para mim. O qual tenho grande apreço e o tenho como amigo e um segundo Pai.

A minha companheira, Clenya Carla Leandro de Oliveira, obrigado pela confiança, apoio, carinho, e por sempre ficar do meu lado nos bons e maus momentos. Graças a tua companhia essa trajetória se tornou mais fácil e feliz.

Ao meu querido amigo Gilsonley Lopes dos Santos, sou grato por tê-lo em minha vida, o qual me acompanha desde a graduação, sempre me ajudando na caminhada acadêmica, incentivando-me a me aperfeiçoar profissionalmente, assim como no meu crescimento pessoal, agradeço pelas conversas, broncas, conselhos e risadas.

A minha co-orientadora Irene da Silva Coelho, pelo carisma e apoio prestado desde a coleta até a análise de dados, sendo acessível e prontamente disposta a contribuir para o desenvolvimento desse estudo. Agradeço a oportunidade de trabalhar com a microbiota do solo, área de grande relevância.

Agradeço de forma especial aos amigos Luiz Alberto, Clenya Carla, Otavio Augusto e Hugo Fagundes. Obrigado pela amizade, cumplicidade, confiança, por me entenderem e me confortarem nos momentos difíceis. Os levo em meu coração.

Agradeço os amigos Victoria Monteiro, Thassiany Alves, Victor Alves, Vitor Duque, Gabriel Machado, Antonino Netto, Yan Vidal, Elias Deulofeu, Jonathan, Marcos Roberto, Sandra Lopes, Carlos Wagner e Caio Nicolau. Obrigado pela honestidade, companheirismo e amizade.

A todos os professores e palestrantes que tive a oportunidade de assistir durante esse período, todos tiveram grande importância para o meu aperfeiçoamento profissional.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro por ter sido um lar para mim, me proporcionando a possibilidade de conhecer pessoas e profissionais de grande notoriedade, me propondo experiências das quais vou levar para vida toda.

Agradeço a Salete Zonta e seu filho Everaldo Zonta, por abrirem as portas de sua propriedade para a execução deste estudo.

Ao CNPq, FAPERJ e a CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo (PPGA-CS/UFRRJ) pelo apoio prestado. Aos profissionais associados, docentes, orientadores, e secretários, por justificarem a grande notoriedade que o programa possui.

Aos colegas do Laboratório de Gênese e Classificação do Solo, Laboratório de Estudo das Relações Solo-Planta, a todos os funcionários do Departamento de Solos e do Instituto de Agronomia.

A todos aqueles que contribuíram de alguma forma para minha formação, desde o apoio com palavras, e críticas construtivas. Atitudes e experiências que transformaram o menino simples do interior, aquele que trouxe na bagagem a vontade de ganhar o mundo e poder dar orgulho aos pais, no homem ainda mais cheio de sonhos que sou hoje.

Obrigado a todos.

BIOGRAFIA

Tiago Paula da Silva nasceu no Município de Cáceres – MT, em 30 de janeiro de 1997. No meio rural, viveu junto aos seus pais, adquirindo desde cedo uma apreciação e valorização pelo trabalho no campo. O contato com o meio ambiente despertou seu interesse nesta área, buscando o aumento da produção agrícola, junto a preservação ambiental. Essas reflexões o motivaram a realizar o Curso Técnico em Agropecuária (2013), no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT) - campus Cáceres. Durante esse período, Tiago acompanhou estudos do desenvolvimento das plantas e suas interações, participando de 3 projetos científicos e apresentando trabalhos em mostras de iniciação científica organizadas pela Universidade Estadual do Mato Grosso – UNEMAT. No ano de 2016, concluiu o ensino médio. Para aprimorar seus conhecimentos e adquirir mais experiência, Tiago ingressou no curso de graduação em Agronomia na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, campus Seropédica, em 2016. Durante a graduação, teve a oportunidade de vivenciar grandes aprendizados científicos, destacando-se o período em que foi estagiário na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, de 2017 a 2018. Posteriormente, integrou a equipe do Laboratório de Gênese e Classificação de Solos (LGCS), onde permaneceu até o final da graduação, em 2021. Sua afinidade com os trabalhos desenvolvidos no laboratório contribuiu para seu desenvolvimento pessoal e profissional, especialmente nas áreas relacionadas ao manejo do solo, matéria orgânica e atributos físicos do solo. Durante a graduação, Tiago também participou de projetos de iniciação científica oferecidos pela BIEXT (2018 a 2019) e pela FAPERJ (2019 a 2021), além de apresentar trabalhos em eventos. Sua dedicação e qualidade de pesquisa foram reconhecidas ao receber o prêmio de melhor trabalho apresentado no III Simpósio ABC (2018), com o título “Processo de Antropização da Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros – MG”. Fora do ambiente acadêmico, Tiago teve a oportunidade de vivenciar a realidade do campo em várias ocasiões ao longo de sua graduação, trabalhando em áreas de produção agrícola e pecuária em larga escala. Essas experiências permitiram que ele compreendesse melhor a atividade biológica, as interações dos atributos físicos e químicos do solo e a fisiologia vegetal, além de sua relação com os sistemas de produção. Em setembro de 2021, Tiago ingressou no mestrado no Programa de Pós-graduação em Agronomia - Ciência do Solo (PPGA-CS/UFRRJ), dando continuidade à sua busca pelo aprimoramento e pela contribuição na área de pesquisa do solo.

RESUMO GERAL

SILVA, Tiago Paula. **Agregados do solo como indicadores de qualidade em área de agricultura orgânica em solos frágeis da Baixada Fluminense, RJ.** 2023. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

Na Baixada Fluminense, região do Estado do Rio de Janeiro, ocorrem solos de textura arenosa na camada superficial e que têm baixos teores de carbono orgânico, sendo comumente cultivados com práticas que promovem a degradação do solo. A adoção de práticas conservacionistas poderá promover a melhoria da produtividade e da qualidade do solo, uma destas práticas é o sistema de cultivo orgânico associado ao sistema plantio direto (SPD). Para tal, é necessária a avaliação de algumas propriedades do solo que possam vir a ser utilizadas como indicadores de qualidade do solo. Este estudo teve como objetivo avaliar possíveis modificações nos atributos do solo em função do emprego destas práticas de manejo. Foi dividido em dois capítulos, no capítulo I - o objetivo foi avaliar a influência de diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal sobre as vias de formação de agregados (biogênicos e fisiogênicos), em alguns atributos químicos e nos teores de carbono orgânico e suas frações. No segundo capítulo, além destes atributos foi avaliada a diversidade bacteriana. O estudo foi conduzido na unidade produção orgânica Sítio do Sol, localizada na Baixada Fluminense – RJ. O delineamento experimental foi 3x2x2, com três repetições, sendo avaliado dois sistemas de manejo, a saber: SPD e sistema convencional (SC). No capítulo I foram utilizadas três coberturas vegetais, a saber; C1: Coquetel 1 – (Crotalária - *Crotalaria juncea* - 20 kg ha⁻¹, Feijão-de-Porco - *Canavalia ensiformis* - 150 kg ha⁻¹ e Milheto - *Pennisetum glaucum* - 60 kg ha⁻¹), C2: Coquetel 2 (com 50% da quantidade de sementes usadas em C1), e P.E: Plantas espontâneas. No capítulo II, como foram utilizadas as seguintes plantas de cobertura: coquetel 2 (C2) (com 50 % da quantidade de sementes usadas em C1), M: Milheto (*Pennisetum glaucum* - 60 kg ha⁻¹) e CJ: Crotalária (*Crotalaria juncea* - 40 kg ha⁻¹). Para o estudo no capítulo I, foram coletadas amostras indeformadas, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm e em pontos distribuídos de forma aleatória. Para o estudo no capítulo II foram coletadas amostras indeformadas na camada de 0-10cm e na linha de cultivo. Nestas amostras os agregados com diâmetro entre 9,7 e 8,0 mm foram separados e classificados de acordo com a via de formação (biogênica ou fisiogênica), sendo determinados os atributos químicos (pH, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, P, Na⁺, K⁺) e as frações de carbono (carbono orgânico total - COT, carbono orgânico associado a minerais - COam), carbono orgânico particulado - COp e carbono da fração leve livre - CFLL) (Capítulos I e II) e a caracterização bacteriana, quanto a riqueza e a diversidade (Capítulo II). Na análise dos resultados do Capítulo I, observa-se que na camada de 0-5 cm houve maior proporção de agregados biogênicos, não tendo sido verificada diferença entre os sistemas de manejo e cobertura. Os melhores valores dos atributos químicos avaliados foram observados no SC. Para o capítulo II, observou-se maior proporção de agregados biogênicos, sem influência dos diferentes sistemas e coberturas, sendo os maiores níveis de nutrientes nos agregados também observados em SC, não sendo observada diferença estatística entre as vias de formação e diferentes coberturas vegetais. A cobertura M esteve associada aos maiores valores de COp e menores de COam. O sistema de manejo influenciou na riqueza e na diversidade bacteriana, sendo a maior abundância observada no SPD.

Palavras-chave: Manejo do solo. Sistemas conservacionistas. Indicadores edáficos. Diversidade bacteriana.

GENERAL ABSTRACT

SILVA, Tiago Paula. **Soil aggregates as quality indicators in an area of organic farming on fragile soils in *Baixada Fluminense*, RJ.** 2023. 72 p. Dissertation (Master in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

In the region of *Baixada Fluminense*, Rio de Janeiro State region, soils with a sandy texture in the surface layer occur; they have low levels of organic carbon and are commonly cultivated with practices that promote soil degradation. The adoption of conservation practices could improve productivity and soil quality. One of these practices is the organic cultivation system associated with no-till system (NT). To achieve that, it is necessary to evaluate some soil properties that could be used as indicators of soil quality. The aim of this study was to evaluate possible changes in soil attributes as a result of using these soil management practices. The study was divided into two chapters. In the chapter I, the aim was to assess the influence of different management systems and vegetation cover on the aggregate formation pathways (biogenic and physiogenic), on some chemical attributes and the organic carbon content and its fractions. In the second chapter, in addition to these attributes, bacterial diversity was also assessed. The study was carried out at the Sítio do Sol, an organic production unit located in the *Baixada Fluminense*, Rio de Janeiro. The experimental design was 3x2x2, with three replications, and two management systems were evaluated: NT and conventional system (CT). In Chapter I, three cover crops were used: C1: Cocktail 1 - (*Crotalaria* - *Crotalaria juncea* (20 kg ha⁻¹, Jack Bean - *Canavalia ensiformis* - 150 kg ha⁻¹ and Millet - *Pennisetum glaucum* - 60 kg ha⁻¹), C2: Cocktail 2 (with 50% of the amount of seeds used in C1), and S.P: Spontaneous plants. In the study presented in chapter II, the following cover crops were used: Cocktail 2 (C2) (with 50% of the amount of seeds used in C1), M: Millet (*Pennisetum glaucum* - 60 kg ha⁻¹) and CJ: *Crotalaria* (*Crotalaria juncea* - 40 kg ha⁻¹). For the study in Chapter I, undeformed soil samples were collected in the 0-5 and 5-10 cm layers, in points distributed randomly. In the study of chapter II undeformed samples were collected in the 0-10 cm layer in the crop row. In these samples, aggregates with a diameter of between 9.7 and 8.0 mm were separated and then classified according to the pathway of formation (biogenic or physiogenic). The chemical attributes (pH, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, P, Na⁺, K⁺) and carbon fractions (total organic carbon – TOC, mineral-associated organic carbon – MAOC), particulate organic carbon – POC, and free light fraction carbon – LFC) were determined (Chapters I and II), as well as bacterial characterization in terms of richness and diversity (Chapter II). An analysis of the results in chapter I shows that there was a higher proportion of biogenic aggregates in the 0-5 cm layer, with no differences between the management and cover systems. The highest values of the chemical attributes were observed in the CT. For chapter II, a higher proportion of biogenic aggregates was observed, without the influence of the different systems and coverings, with the highest levels of nutrients in the aggregates also being observed in CT, with no statistical difference between the formation paths and plant coverings. The plant cover M was associated with the highest POC values and the lowest MAOC values. The management system influenced bacterial richness and diversity, with the greatest abundance being observed in the NT.

Keywords: Soil management. Conservation systems. Edaphic indicators. Bacterial diversity.

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização da área de estudos no município de Seropédica-RJ. Fonte: Elaborado pelo autor. 8
- Figura 2.** Variação da média mensal da precipitação e da temperatura durante o ano de 2019. Fonte: Dados climáticos obtidos no site climate-data.org. (2019), e elaborado pelo autor. 9
- Figura 3.** Delineamento experimental da área de estudo. Legenda: Histórico, descrição e localização das áreas de estudo. Fonte: Elaborada pelo autor. Legenda. O delineamento experimental é fatorial 2 x 6, com parcelas subdivididas [(2 tratamentos – Sistema Convencional e Sistema Plantio Direto (parcelas) e 6 tratamentos com diferentes coberturas de solo (subparcelas)], com 3 repetições. Coberturas: C1: Coquetel 1 - Crotalaria (*Crotalaria juncea*) (20 kg ha⁻¹), Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformis*) (150 kg ha⁻¹) e Milheto (*Pennisetum glaucum*) (60 kg ha⁻¹); C2: Coquetel 2 - Crotalaria (*Crotalaria juncea*) (10 kg ha⁻¹), Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformis*) (75 kg ha⁻¹) e Milheto (*Pennisetum glaucum*) (30 kg ha⁻¹); P.E: Plantas Espontâneas; M: Milheto (*Pennisetum glaucum*) (60 kg ha⁻¹); CJ: Crotalaria juncea (*Crotalaria juncea*) (40 kg ha⁻¹); e F.P: Feijão de porco (*Canavalia ensiformis*) (150 kg ha⁻¹). 10
- Figura 4.** Representação das coberturas vegetais utilizadas no estudo e seu desenho experimental no primeiro ano, para as diferentes coberturas vegetais, em solo de textura leve, no sudeste do Brasil. 11
- Figura 5.** Ilustração das coberturas vegetais utilizadas na área de estudo, e seu delineamento experimental, com diferentes coberturas vegetais, em solo de textura leve, no sudeste do Brasil. 11
- Figura 6.** Forma de coleta de solo não perturbado, para o estudo da agregação do solo a 0-5 e 5-10 cm de profundidade, e seu desenho experimental, para diferentes sistemas de cultivo, em solo de textura leve, no sudeste do Brasil. 12
- Figura 7.** Forma de coleta de amostras de solo indeformada juntamente ao sistema radicular, para o estudo da agregação do solo a 0-10 cm de profundidade, e o seu desenho experimental, para diferentes sistemas de cultivo, em solo de textura leve, no sudeste do Brasil. 12
- Figura 8.** Modelo esquemático de separação e classificação de agregados e a representação da distinção entre agregados biogênicos e fisiogênicos de amostras de solo não perturbado de textura leve do sudeste do Brasil. 13
- Figura 9.** Porcentagem de agregados biogênicos (Bio) e fisiogênicos (Fis) de áreas sob diferentes sistemas de cultivo em solos de textura leve, sudeste do Brasil. (A) 0-5 cm e (B) 5-10 cm de profundidade. A medição corresponde a 100 g de agregados de solo com tamanho de 9,7 a 8,0 mm antes da separação entre biogênicos e fisiogênicos. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para formações de veredas e minúsculas para sistemas de cultivo, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. SPD: sistema plantio direto; SC: plantio convencional; Coquetel 1 (C1): 100% da quantidade de sementes recomendada para cada espécie que compõe o coquetel (Crotalaria (*Crotalaria juncea*) (20 kg ha⁻¹), Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformis*) (150 kg ha⁻¹) e Milheto (*Pennisetum glaucum*) (60 kg ha⁻¹)); Coquetel 2 (C2): 50 % da quantidade de sementes recomendada para cada espécie que compõe o coquetel (Crotalaria (*Crotalaria juncea*) (10 kg ha⁻¹), Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformis*) (75 kg ha⁻¹) e Milheto (*Pennisetum glaucum*) (30 kg ha⁻¹)); e Plantas espontâneas (P.E). 22
- Figura 10.** Valores de carbono orgânico total (COT) de agregados biogênicos (Bio) e fisiogênicos (Fis) de áreas sob diferentes sistemas de cultivo em solos de textura leve,

sudeste do Brasil. (A) 0-5 cm e (B) 5-10 cm de profundidade. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para formações de veredas e minúsculas para sistemas de cultivo, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. SPD: Sistema plantio direto; SC: Sistema plantio convencional; Coquetel 1 (C1): 100% da quantidade de sementes recomendada para cada espécie que compõe o coquetel (Crotalaria (*Crotalaria juncea*) (20 kg ha⁻¹), Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformis*) (150 kg ha⁻¹) e Milheto (*Pennisetum glaucum*) (60 kg ha⁻¹)); Coquetel 2 (C2): 50 % da quantidade de sementes recomendada para cada espécie que compõe o coquetel (Crotalaria (*Crotalaria juncea*) (10 kg ha⁻¹), Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformis*) (75 kg ha⁻¹) e Milheto (*Pennisetum glaucum*) (30 kg ha⁻¹)); Plantas espontâneas (P.E); COT: Carbono Orgânico Total. 25

Figura 11. Frações de matéria orgânica do solo de agregados biogênicos (Bio) e fisiogênicos (Phy) de áreas sob diferentes sistemas de cultivo em solos de textura leve, sudeste do Brasil. (A, C, e E) 0–5 cm, e (B, D, e F) 5–10 cm de profundidade. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para formações de veredas e minúsculas para sistemas de cultivo, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. SPD: Sistema plantio direto; SC: Sistema plantio convencional; Coquetel 1 (C1): 100% da quantidade de sementes recomendada para cada espécie que compõe o coquetel (Crotalaria (*Crotalaria juncea*) (20 kg ha⁻¹), Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformis*) (150 kg ha⁻¹) e Milheto (*Pennisetum glaucum*) (60 kg ha⁻¹)); Coquetel 2 (C2): 50 % da quantidade de sementes recomendada para cada espécie que compõe o coquetel (Crotalaria (*Crotalaria juncea*) (10 kg ha⁻¹), Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformis*) (75 kg ha⁻¹) e Milheto (*Pennisetum glaucum*) (30 kg ha⁻¹)); Plantas espontâneas (P.E); COp: Carbono orgânico particulado; COam: Carbono orgânico associado a minerais; e CFLL: Carbono orgânico da fração leve livre. 26

Figura 12. Análise de componentes principais das características químicas do solo e físicas de agregados biogênicos (B) e fisiogênicos (F), nos diferentes sistemas de cultivo do solo (SPD e SC), na camada de 0-5 cm. Carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COp), carbono orgânico mineral (COam), carbono orgânico da fração leve livre (CFLL), soma de bases (SB), valor T (T), saturação por bases (V%). 27

Figura 13. Análise de componentes principais das características químicas do solo e físicas de agregados biogênicos (B) e fisiogênicos (F), nos diferentes sistemas de cultivo do solo (SPD e SC), na camada de 5-10 cm. Carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COp), carbono orgânico mineral (COam), carbono orgânico da fração leve livre (CFLL), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio trocável (Na), potássio trocável (K), fósforo disponível (P), soma de bases (SB), valor T (T), saturação por bases (V%). 28

Figura 14. Percentagem de agregados biogênicos (Bio) e fisiogênicos (Fis) próximos as sistema radicular da cultura (Quiabo), em áreas sob diferentes sistemas de cultivo, diferentes coberturas vegetais em solos de textura leve, no sudeste do Brasil. A medida corresponde a 100 g de agregados de solo de tamanho 9,7-8,0 mm antes da separação entre biogênico e fisiogênico. As médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para sistemas de cultivo e minúsculas para vias de formação, não diferem estatisticamente, nas coberturas vegetais, pelo símbolo (ns) (não significativo), teste de Tukey, com 5% de probabilidade. SPD: sistema plantio direto; SC: sistema convencional; CJ: Crotalaria (*Crotalaria juncea*) (40 kg ha⁻¹); M: Milheto (*Pennisetum glaucum*) (60 kg ha⁻¹) e C: coquetel (Crotalaria - *Crotalaria juncea*) (10 kg ha⁻¹), Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformis*) (75 kg ha⁻¹) e Milheto - (*Pennisetum glaucum*) (30 kg ha⁻¹). 48

Figura 16. Extração de DNA em Gel de agarose de amostras de agregados (biogênicos e fisiogênicos) sob cultivo em Sistema Plantio Direto (SPD) e Convencional (SC), com diferentes coberturas vegetais (C, CJ e M) em solo de textura leve no sudeste do Brasil.	52
Figura 17. Curvas de rarefação das ASVs por amostra, em agregados biogênicos (Bio) e fisiogênicos (Fis) sob cultivo em Sistema Plantio Direto (SPD) e Convencional (SC), em função das diferentes coberturas vegetais (Coquetel (C), Crotalária (CJ) e Milheto (M)) utilizadas em solo de textura leve no sudeste do Brasil.....	52
Figura 18. Riqueza observada de ASVs (a) e índices de alfa-diversidade Shannon (b) e Simpson (c), em agregados (biogênicos e fisiogênicos) sob cultivo em Sistema Plantio Direto (SPD) e Convencional (SC), com diferentes coberturas vegetais (Coquetel, Crotalária e Milheto) em solo de textura leve no sudeste do Brasil.	53
Figura 19. Abundância média dos principais filos bacterianos encontrados em agregados biogênicos (B) e fisiogênicos (F) sob cultivo em Sistema Plantio Direto (D) e Sistema Convencional (C), em função das diferentes coberturas vegetais (coquetel de sementes: C, crotalária: CJ e milho: M) em solo de textura leve no sudeste do Brasil.	54
Figura 20. Análise de Coordenadas Principais (PCoA) de agregados biogênicos e fisiogênicos (a), com diferentes coberturas vegetais (coquetel, crotalária e milho) (b), sob cultivo em Sistema Plantio Direto (SPD) e Convencional (SC) (c) em solo de textura leve no sudeste do Brasil.....	55
Figura 21. Análise linear discriminante do tamanho do efeito (LEfSe) dos filos bacterianos de agregados biogênicos e fisiogênicos de solos sob cultivo em Sistema Plantio Direto (SPD) e Convencional (SC), com diferentes coberturas vegetais em solo de textura leve no sudeste do Brasil.....	56
Figura 22. Análise linear discriminante do tamanho do efeito (LEfSe) das espécies bacterianas de agregados biogênicos e fisiogênicos de solos sob cultivo em Sistema Plantio Direto (SPD) e Convencional (SC), com diferentes coberturas vegetais em solo de textura leve no sudeste do Brasil.	56
Figura 1 a 3. Agregados biogênicos vistos em lupa, de solos arenosos da Baixada Fluminense, Seropédica - RJ. Fotos: Tiago Paula da Silva, 2022.	71
Figura 4 a 6. Agregados fisiogênicos, vistos em lupa, de solos arenosos da Baixada Fluminense, Seropédica - RJ. Fotos: Tiago Paula da Silva, 2022.	71
Figura 7 e 8. Cultura do quiabo na área de estudos (Sítio do Sol), em solo arenoso na Baixada Fluminense, Seropédica - RJ. Fotos: Tiago Paula da Silva, 2022.	71
Figura 9 e 10. Plantas de coberturas, plantas espontâneas (P.E) e milho (M), respectivamente, em solo arenoso na Baixada Fluminense, Seropédica - RJ. Fotos: Tiago Paula da Silva, 2023.	71
Figura 11 e 12. Plantas de coberturas, feijão-de-porco (F.P) e coquetel 1 (C1), respectivamente, em solo arenoso na Baixada Fluminense, Seropédica - RJ. Fotos: Tiago Paula da Silva, 2023.	72
Figura 13 e 14. Plantas de coberturas, coquetel 2 (C2) e crotalária (CJ), respectivamente, em solo arenoso na Baixada Fluminense, Seropédica - RJ. Fotos: Tiago Paula da Silva, 2023.	72
Figura 15. Amostra indeformada coletada para análise, em solo arenoso na Baixada Fluminense, Seropédica - RJ. Foto: Tiago Paula da Silva, 2022.	72

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos intra-agregados nos diferentes sistemas.....	24
Tabela 2. Atributos químicos dos agregados nos diferentes sistemas ⁽¹⁾	49
Tabela 3. Índices de qualidade e pureza do DNA extraído de agregados. ⁽²⁾	51

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Solos de Textura Arenosa (Solos Leves).....	3
2.2. Sistema Plantio Direto (SPD).....	3
2.3. Agricultura Orgânica	4
2.4. Sistema Plantio Direto de Hortaliças (SPDH).....	5
2.5. Indicadores de Qualidade do Solo	5
2.6. Agregação e sua Interação com a Matéria Orgânica e a Vegetação.....	6
2.7. Agregados e suas Vias de Formação	7
2.8. A Microbiota do Solo	7
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
3.1. Localização, Clima e Solo da Área de Estudo	8
3.1.1 Delineamento experimental	9
3.1.2. Amostragem dos agregados	12
3.1.3. Vias de formação	13
3.2. Caracterização dos Atributos Químicos	14
3.3. Fracionamento Físico Granulométrico da MOS	14
3.4. Fracionamento Físico Densimétrico da MOS	14
3.5. Análise da Diversidade Bacteriana.....	15
3.6. Análises Estatísticas	15
3.6.1. Atributos químicos.....	15
3.6.2. Análises descritivas e estatísticas do microbioma	16
4. CAPÍTULO I AGREGADOS BIOGÊNICOS E FISIOGÊNICOS COMO INDICADORES DE QUALIDADE EM SOLOS DE TEXTURA ARENOSA EM ÁREAS DE AGRICULTURA ORGÂNICA	17
4.1. RESUMO	18
4.2. ABSTRACT	19
4.3. INTRODUÇÃO.....	20
4.4. RESULTADOS	22
4.4.1. Vias de formação	22
4.4.2. Atributos químicos nos agregados.....	22
4.4.3. Carbono orgânico no solo	25
4.4.4. Análise de componentes principais (ACP)	26
4.5. DISCUSSÃO	29
4.5.1. Vias de formação	29
4.5.2. Atributos químicos nos agregados.....	29
4.5.3. Carbono orgânico no solo	30
4.5.4. Análise de componentes principais (ACP)	30
4.6. CONCLUSÕES	32
4.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
5. CAPÍTULO II CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA E DIVERSIDADE BACTERIANA DE AGREGADOS BIOGÊNICOS E FISIOGÊNICOS DE SOLOS LEVES EM SISTEMA PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL.....	43
5.1. RESUMO	44
5.2. ABSTRACT	45

5.3. INTRODUÇÃO.....	46
5.4. RESULTADOS	48
5.4.1. Via de formação.....	48
5.4.2. Atributos químicos dos agregados	48
5.4.3. Carbono e suas frações	50
5.4.4. Diversidade bacteriana do solo	51
5.5. DISCUSSÃO	57
5.5.1. Vias de formação	57
5.5.2. Atributos químicos dos agregados	57
5.5.3. Carbono orgânico total e frações da matéria orgânica.....	58
5.5.4. Diversidade bacteriana do solo	59
5.6. CONCLUSÕES	61
5.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
6. CONCLUSÕES GERAIS	69
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
8. ANEXOS	71

1. INTRODUÇÃO GERAL

A demanda por alimentos tem crescido a cada ano e a produção agrícola brasileira ganha cada vez mais destaque no cenário mundial. É crucial, portanto, o desenvolvimento e a manutenção da oferta alimentar para atender a essas demandas em constante expansão (Silva et al., 2015). Adicionalmente, é necessário o desenvolvimento de técnicas de manejo que aumentem a produtividade e melhorem a qualidade do solo. O emprego de técnicas adequadas é fundamental para garantir a sustentabilidade e a viabilidade a longo prazo da produção agrícola (Raiher et al., 2016).

Dentre os principais empecilhos ao aumento de produtividade, destaca-se a textura leve ou arenosa dos solos na camada arável, os quais, no Brasil representam 8% das áreas cultivadas (Donagemma et al., 2016). Esse tipo de textura resulta em baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, o que dificulta o desenvolvimento das plantas. A rápida drenagem em solos de textura arenosa também favorece a perda de nutrientes adicionados através da adubação por lixiviação, além de aumentar a suscetibilidade à erosão, principalmente a eólica.

Para superar esses desafios, é necessário adotar estratégias específicas de manejo do solo, com técnicas conservacionistas. Como o sistema plantio direto (SPD), que permite formar uma camada de palha protetora sobre o solo, diminuindo as perdas de umidade, e de nutrientes por lixiviação, aumentando o conteúdo de matéria orgânica, o que colabora para a melhoria da estrutura do solo, o qual pode ser adotado associado ao sistema de produção orgânico (Li et al., 2022). O cultivo orgânico contribui para a preservação da biodiversidade e melhoria da qualidade do solo, minimizando impactos ambientais. A adoção conjunta dessas práticas resulta na melhoria da estrutura do solo, no aumento do conteúdo de matéria orgânica e na redução do uso de agroquímicos, promovendo a produção de alimentos saudáveis (Leite & Polli, 2020). Ambos os sistemas utilizam a cobertura vegetal, para promover proteção do solo contra a erosão, além de melhorar sua estrutura ao longo do tempo.

A estrutura do solo é um importante indicador de qualidade, no qual os agregados desempenham um papel fundamental, sendo formados pela união de partículas minerais, matéria orgânica e microrganismos, conferindo ao solo uma estrutura porosa e estabilidade estrutural (Bochner et al., 2008; Six & Jastrow, 2002). Uma boa estrutura de solo favorece a permeabilidade à água e ao ar, permitindo uma adequada circulação desses elementos essenciais para o crescimento das plantas. Além disso, os agregados promovem a formação de canais que facilitam o enraizamento das plantas, permitindo o acesso aos nutrientes e uma melhor absorção de água (Augusto et al., 2023).

Os agregados podem ser classificados quando a sua via de formação, como biogênico e fisiogênico, e podem ser utilizadas como indicadores para avaliar a eficácia dos manejos do solo (Pereira et al., 2021). Pois estas vias descrevem os processos de formação e estabilização dos agregados do solo, fornecendo informações a respeito da qualidade do solo e a eficácia dos manejos adotados.

Este estudo teve como hipótese que a adoção do SPD em áreas de agricultura orgânica promove modificações nas vias de formação dos agregados (biogênicos e fisiogênicos) e na comunidade microbiana. Para avaliar essa hipótese, a dissertação foi dividida em 2 capítulos:

O Capítulo I intitulado “Agregados do solo como indicadores de qualidade em áreas de agricultura orgânica em solos arenosos da Baixada Fluminense, RJ”, teve como objetivos i) avaliar a influência de diferentes sistemas de manejo do solo, com diferentes coberturas

vegetais, nas vias de formação de agregados; ii) avaliar a influência destes fatores nos teores de nutrientes neles contidos e em alguns atributos químicos e nas frações de matéria orgânica; e iii) utilizar esses atributos como indicadores da qualidade do solo.

O Capítulo II intitulado “Caracterização da diversidade bacteriana e da matéria orgânica de agregados biogênicos e fisiogênicos em áreas de plantio direto”, teve como objetivos i) avaliar a influência de diferentes sistemas de manejo e coberturas vegetais, nas diferentes vias de formação de agregados (biogênicos e fisiogênicos); ii) avaliar se há diferença entre a comunidade bacteriana em agregados biogênicos e fisiogênicos; iii) avaliar a influência destes atributos sobre os níveis de nutrientes e os teores de carbono orgânico, e suas frações; e iv) utilizar as diferentes vias como indicador da qualidade do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Solos de Textura Arenosa (Solos Leves)

Os solos de textura de textura arenosa (também denominados de textura leve) possuem grande abrangência em todo o mundo, podendo os encontrar em diversas regiões com diferentes climas e biomas. Segundo Huang & Hartemink (2020), no mundo cerca de 199.600.000 ha de solos de textura arenosa são destinados a agricultura. No Brasil, solos com textura arenosa na camada arável podem representar até 8% do território nacional (Donagemma et al., 2016). No estado do Rio de Janeiro, grande parte dos solos possui textura arenosa nos horizontes superficiais, sendo este padrão também observado nos solos da região da Baixada Fluminense, com destaque para os Argissolos e Planossolos (Siqueira, 2009).

A produção agrícola é fundamental para o desenvolvimento e manutenção da vida e da economia global (Bellochio et al., 2017). A agricultura é responsável por produzir alimentos, fibras e biocombustíveis, que são utilizados diariamente por bilhões de pessoas em todo o mundo, visto que a demanda cresce de forma acelerada a cada ano (Silva et al., 2015). Além disso, a produção agrícola é uma importante fonte de empregos e renda para milhões de pessoas em áreas rurais (Arrais et al., 2019).

Um dos principais limitantes de produção agrícola é a textura do solo, principalmente nos solos de textura leves, que são aqueles que possuem alto percentual de areia ($> 500 \text{ g kg}^{-1}$), em relação às outras frações do solo como argila e silte (Donagemma et al., 2016). Esse atributo implica em um conjunto de restrições ao uso agrícola, tais como: a baixa capacidade de retenção de água, tornando as culturas suscetíveis ao déficit hídrico - o que faz com que a irrigação se torne mais frequente; a baixa capacidade de troca catiônica – favorecendo uma maior perda de nutrientes por lixiviação; a rápida decomposição da matéria orgânica – implicando em perdas de nutrientes e adicionalmente problemas com erosão eólica em função da falta de agentes cimentantes (como a matéria orgânica), contribuindo para que as partículas sejam mais facilmente removidas do solo (Donagemma et al., 2016; Silva et al., 2020; Costa et al., 2022).

A erosão do solo é função de forças naturais, como chuvas intensas, ventos fortes e mudanças no relevo, mas pode ser intensificada por atividades humanas, como o desmatamento e a agricultura sem uso de práticas conservacionistas (Vanacker et al., 2019). A erosão é favorecida em solos descobertos, promovendo o empobrecimento do solo pela perda de nutrientes por lixiviação ou araste, além da remoção de grandes massas de solo (de Oliveira et al., 2023).

2.2. Sistema Plantio Direto (SPD)

Na agricultura busca-se alcançar produtividades elevadas e constantes, para atender esta necessidade é necessário a adoção de técnicas que mantenham e/ou melhorem a qualidade do solo (Corsini & Cossiolato, 2015).

O manejo convencional tem como premissas o revolvimento da camada superficial do solo, com intuito de aumentar a infiltração, incorporar fertilizantes minerais e remover plantas espontâneas (Franchini et al., 2012; Kappes & Zancanaro, 2015). No entanto, esse manejo, em geral, afeta negativamente a qualidade do solo, diminuindo a agregação do solo e a proporção de microporos, acelerando a decomposição da matéria orgânica, e aumentando as perdas de solo por erosão eólica e hídrica (François et al., 2020).

A adoção de práticas conservacionistas é essencial para a manutenção da qualidade do solo e para os níveis de produtividade, dentre estas práticas pode se citar a implementação de sistemas conservacionistas como o Sistema Plantio Direto (SPD) (Reis et al., 2022). O SPD é

de origem brasileira, tendo surgido a partir da adequação do Plantio Direto (PD) (Pinto, 2021). O PD foi introduzido no Brasil por volta da década de 70, tendo como premissas a conservação do solo, redução das perdas de solo e de fertilidade por arraste hídrico, em função da manutenção do solo descoberto, o que ocorre com frequência no cultivo convencional (Lima et al., 2018).

O desenvolvimento do PD se deu através de estudos na Inglaterra e Estados Unidos da América (EUA), impulsionados pelo desenvolvimento de produtos, que viabilizaram o cultivo sem revolvimento do solo, principalmente com o uso de herbicidas a base de “paraquat”, o qual foi desenvolvido pela Imperial Chemical Industries (ICI) na década de 60 (Cardoso, 2003). No Brasil a indústria para atender as demandas deste sistema se fortaleceu na década de 70, com a produção de implementos de plantio e adubação, e também a inserção no mercado nacional de herbicida a base de “glifosato” (Castilhos et al., 2008; Vargas et al., 2016).

A implementação do sistema PD no estado do Paraná tomou grande proporção, ocupando áreas que antes adotavam o plantio convencional. Com o decorrer dos anos os impactos da adoção deste sistema começam a ser evidenciados, com resultados cada vez mais positivos, em estudos que mostravam modificações no solo, na sua fertilidade, estrutura, e sequestro de carbono no sistema PD (Balesdent et al., 2000; Zanchett Filho, 2019). Sendo considerado o maior marco do século no quesito manejo do solo e cultivo agrícola (Cassol et al., 2007).

Porém, um dos maiores problemas para a adoção do PD estava relacionado as origens do sistema, em condições de clima temperado, diferentes das condições tropicais verificadas em grande parte do Brasil, sendo então necessárias adaptações no sistema (Salomão et al., 2020). As principais diferenças devem-se ao fato de o PD não levar em consideração a diversidade de espécies vegetais, o que é premissa básica do SPD na exigência de rotação de culturas (Denardin et al., 2012). Adicionalmente, um dos principais fatores apontado como limitante no SPD é a utilização elevada de produtos químicos, para o controle das plantas espontâneas (herbicidas), e de pragas e doenças, o que pode acarretar impactos ambientais e na saúde dos trabalhadores e consumidores dos produtos agrícolas oriundos desse sistema de produção (Rangel et al., 2021).

2.3. Agricultura Orgânica

A adoção de práticas agrícolas sustentáveis como a agricultura orgânica, biológica e outras, tiveram origem no movimento iniciado na França, na década de 70, que pregava a adoção de práticas contrárias as utilizadas no cultivo convencional (Pierozan, 2021). Estes sistemas produtivos, com características mais sustentáveis, têm como objetivo uma melhor interação entre vegetação nativa e as espécies de interesse produtivo (Lapicciarella et al., 2022).

Uma das medidas adotadas nesses sistemas, para mitigar os problemas apresentados por outros sistemas e inerentes aos solos de uma dada região, é o aumento do conteúdo de matéria orgânica, através de práticas como o emprego de plantas de cobertura (Caporal et al., 2009; Altieri, 2012). Aspectos estes que tendem a reduzir a necessidade de insumos externos na produção agropecuária, buscando alcançar o maior aproveitamento da capacidade produtiva do solo, e ainda reduzindo os impactos ambientais (Carvalho et al., 2021; Lapicciarella et al., 2022).

O sistema de produção orgânica promove a maior adição de matéria orgânica na superfície do solo, contribuindo para menor perda de nutrientes, redução dos processos erosivos, atenua variações na temperatura e promove maior diversidade de organismos edáficos (Rodrigues et al., 2013; Hernández et al., 2016). Nesse sistema também pode ser observado o aumento de teores de N no solo com o uso de leguminosas como plantas de cobertura (Finato et al., 2013).

A agricultura orgânica depende do desenvolvimento de sistemas de produção que visem o manejo conservacionista do solo e o aporte de nutrientes oriundos de fontes renováveis, com base em resíduos orgânicos, de origem vegetal e animal, atendendo aos princípios da agrobiologia, os quais se fundamentam no desenvolvimento da agricultura com baixa entrada de energia externa, ou seja, com o máximo aproveitamento dos ciclos biológicos favorecendo a ciclagem de nutrientes e a manutenção da biodiversidade dos agrossistemas (Altieri, 2012).

2.4. Sistema Plantio Direto de Hortalças (SPDH)

Associado ao sistema de produção orgânica podem ser adotadas práticas conservacionistas como o Sistema Plantio Direto (SPD), que é o cultivo sobre os resíduos culturais de ciclos anteriores ou de plantas de cobertura. O cultivo de hortalças neste sistema é também denominado de Sistema Plantio Direto de Hortalças (SPDH), e segue três princípios, a saber: o revolvimento localizado, a diversificação de espécies com a rotação de culturas, e a cobertura permanente do solo (Lima & Madeira, 2013; Nespoli et al., 2017).

Em contrapartida, a produção hortalças no Brasil é por vezes realizada com grande adição de insumos químicos e com intenso revolvimento do solo, práticas estas que culminam no empobrecimento e no aumento de perdas de nutrientes e do solo (Souza et al., 2014; dos Santos et al., 2023).

O SPDH tem como finalidade a conservação do solo e da água, consequentemente a redução de utilização de insumos externos, assim como máquinas agrícolas e melhor manejo da irrigação, em função da manutenção da cobertura vegetal do solo (Factor et al., 2010; Pacheco et al., 2021). A adoção do SPDH também contribui para melhoria da qualidade do solo, proporcionando melhor agregação, protegendo o solo, promovendo melhorias na infiltração, porosidade, permeabilidade, densidade e capacidade de retenção de nutrientes (Pacheco et al., 2021). Além disso, pela manutenção da palhada sobre o solo ocorre a redução do crescimento de plantas espontâneas, e diminuindo a ocorrência da erosão (Fayad et al., 2018).

A associação dos sistemas agrega características que promovem a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, o que os caracterizam como sistemas de agricultura sustentável (Darolt, 2000).

2.5. Indicadores de Qualidade do Solo

Diversos fatores podem levar a degradação do solo e a diminuição de sua capacidade produtiva, desde a não adoção de práticas adequadas de manejo até a aplicação excessiva de insumos que inviabilizem a produção em uma determinada área (Santos et al., 2021). Pode ser usado um conjunto amplo e complexo de atributos para identificar a qualidade do solo e avaliar a influência das práticas de manejo adotadas nas modificações destes atributos, sendo aqueles que conseguem identificar estas modificações denominado de indicadores de qualidade do solo (Lima et al., 2007). Os indicadores de qualidade do solo podem ser químicos, físicos e biológicos (Balota, 2017; Silva et al., 2020; Ribeiro et al., 2022).

As modificações das propriedades químicas e biológicas do solo, por vezes, está associada a degradação das propriedades físicas do solo (Perusi & Barros, 2020). Um solo saudável precisa possuir um arranjo estrutural bem desenvolvido e estável, para que possa permitir o fluxo de água e ar no solo (Primavesi, 2016) e, desta forma, contribuir para a manutenção de todos os processos influenciados por este atributo.

A estrutura do solo tem grande importância para a realização de uma série de processos que ocorrem no solo, pois além de influenciar na dinâmica da água, também está associada ao desenvolvimento vegetal (Perusi & Barros, 2020). A agregação do solo é função da interação e

organização das partículas do solo, minerais e orgânicas, na qual a matéria orgânica atua como agente cimentante (Falcão et al., 2020).

O uso das técnicas que contribuem para o aumento do teor de carbono orgânico no solo promove a melhoria dos atributos edáficos, além de proporcionar maior retenção de água no solo, favorecer as trocas gasosas e aumentar a capacidade de troca de cátions (CTC) (Boer et al., 2007). Como mencionado anteriormente, vários estudos mostram o efeito positivo da adoção do SPD nas propriedades químicas do solo, porém ainda são poucos aqueles que avaliam as modificações em suas propriedades físicas, com destaque na agregação do solo e nas origens destes agregados e na proteção oferecida por estes agregados no carbono do solo.

2.6. Agregação e sua Interação com a Matéria Orgânica e a Vegetação

Os agregados são formados pela união das partículas unitárias do solo apresentando formas e tamanhos definidos, constituindo uma unidade estrutural (Bochner et al., 2008). Six & Jastrow (2002) propuseram duas origens para macroagregados do solo, de acordo com o processo que os produziu: estruturas criadas por engenheiros do ecossistema (minhocas, formigas e cupins) e ainda estabilizados por uma microagregação secundária e uma aglomeração de microagregados microbianas em estruturas macroagregados maiores.

O tipo de vegetação é um dos fatores importantes na formação dos agregados, diretamente pela ação mecânica das raízes ou pela excreção de substâncias com ação cimentante e, indiretamente, fornecendo nutrientes à fauna do solo (Bronick & Lal, 2005). As gramíneas, pelo seu sistema radicular fasciculado, são mais eficientes em aumentar e manter a estabilidade de agregados que as espécies com sistema radicular pivotante, mesmo em sistemas de cultivos anuais com revolvimento do solo, no qual o sistema radicular é renovado constantemente (Salton et al., 2008). Esses autores também verificaram que a formação e manutenção da agregação do solo em condições de vegetação natural de Cerrado foram semelhantes às observadas em área de rotação lavoura-pastagem em ciclos de dois anos, ou mesmo áreas com pastagem permanente com gramíneas, devido à elevada influência do sistema radicular; porém, apenas os macroagregados mostraram relação com os teores de carbono no solo.

Através da técnica da abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$, realizada em agregados, pode ser identificada a origem do carbono que favoreceu a sua formação, sendo essas diferenças decorrentes da assinatura isotópica natural entre plantas de ciclo fotossintético C3 ($\approx -27\text{‰}$) e C4 ($\approx -11\text{‰}$). Dessa forma é possível avaliar o efeito das plantas de cobertura no processo de agregação e identificar qual o tipo de carbono está sendo armazenado.

A qualidade estrutural do solo é fundamental para o suprimento de água, nutrientes e oxigênio às raízes, além de proporcionar menor resistência mecânica, o que é favorável ao crescimento radicular. Melhorias na estrutura do solo, principalmente na estabilidade de agregados, são obtidas quando da conversão de áreas de preparo convencional para sistemas conservacionistas, como o PD (Beutler et al., 2001; Pereira et al., 2010; Schiavo et al., 2011; Bell & Moore, 2012; Aziz et al., 2013; Loss et al., 2014). Adicionalmente os agregados do solo protegem fisicamente o carbono da mineralização acentuada promovida pela alteração do uso ou intensificação do preparo, favorecendo sua manutenção ou acúmulo (Six et al., 2004).

O solo na região próxima às raízes das plantas apresenta maior estabilidade de agregados em comparação ao individualizado e é chamado de solo rizosférico (Blankinship et al., 2016). A influência das raízes na agregação do solo difere entre as plantas (Hallett et al. 2003; Moreno-Espíndola et al. 2007; Whalley et al. 2005).

As plantas desempenham dois papéis principais na formação de agregados do solo, particularmente macroagregados (Denef et al., 2001). Primeiro, as raízes das plantas envolvem fisicamente as partículas transformando-os em agregados (Tisdall & Oades, 1982; Degens,

1997; Six et al., 2004). Refletindo isso, o comprimento da raiz e a abundância de plantas podem se relacionar positivamente com a estabilidade dos agregados (Roberson et al., 1991; Haynes & Francis, 1993). Em segundo, as plantas afetam a formação de agregados por meio de resíduos orgânicos que são adicionados ao solo e se misturam com partículas minerais. Esses resíduos podem atuar como um “núcleo” para a formação de agregados, alimentando microrganismos que secretam substâncias orgânicas que atuam como agentes cimentantes (De Gryze et al., 2005; Cosentino et al., 2006).

2.7. Agregados e suas Vias de Formação

Os agregados são formados inicialmente pela interação de partículas do solo, as quais vão se organizando e formando estruturas de diferentes dimensões e arranjos, através da interação entre processos físicos, químicos e biológicos (Lepsch, 2016). Sendo formados de forma geral em duas etapas, que podem ocorrer de forma simultânea no solo. A primeira é a etapa de aproximação das partículas individualizadas e a segunda é a estabilização, denominada de cimentação, ambas as etapas são resultado da influência de íons e moléculas.

Estes processos influenciam a via de formação de agregados e podemos diferenciar as estruturas por padrões morfológicos, adotando as denominações de biogênicos, para os agregados de origem biológica e fisiogênicos para os agregados formados a partir dos processos físicos e químicos do solo (Batista et al., 2013; Loss et al., 2014; Mergen Junior et al., 2019; Pereira et al., 2021). Os agregados fisiogênicos apresentam formas angulares ou prismáticas pela atuação dos ciclos de umedecimento e secagem, e pela ação dos agentes cimentantes do solo. Enquanto os agregados biogênicos apresentam formas arredondadas e estão relacionadas às vias biológicas de formação, assim como, pela maior influência da macrofauna do solo, especialmente minhocas, somada a ação cimentante de exsudados das raízes (Pinto, 2020).

Agregados biogênicos possuem maiores teores de nutrientes, contribuem na proteção física da matéria orgânica (sequestro de carbono), e normalmente possuem maior estabilidade física em água (Silva Neto et al., 2010), possíveis indicadores de qualidade do solo (Fernandes et al., 2017). A agregação é um indicador físico de qualidade que é sensível a mudanças das práticas de manejo adotadas (Fernandes et al., 2017).

2.8. A Microbiota do Solo

Os microrganismos podem ser classificados como macroinvertebrados ou como bactérias e fungos de vida livre, todos podem contribuir para a formação de agregados (Canellas et al., 2003). A biomassa microbiana do solo se relaciona positivamente com a formação de agregados (Degens, 1997; Ghani et al., 2003; Cosentino et al., 2006), um padrão explicado por dois mecanismos ilustrados a seguir.

Os fungos são conhecidos por formar agregados de maneira similar a ação das raízes das plantas (Tisdall & Oades, 1982), particularmente em solos de textura arenosa (De Gryze et al., 2005). Por outro lado, bactérias e fungos produzem substâncias poliméricas extracelulares (EPS) que agem como agente cimentante, que conectam os agregados do solo como uma possível estratégia para acessar recursos distantes e criar um ambiente mais estável para sua sobrevivência (Chenu & Roberson, 1996; Flemming & Wingender, 2010).

Adicionalmente microrganismos na superfície externa dos agregados podem estar em um local ideal para conectar agregados vizinhos e dessa forma acessar substratos de carbono para fazer EPS, o qual incorpora uma matriz de materiais poliméricos extracelulares, que possui material genético e proteína (Holden, 2011; Schimel & Schaeffer, 2012).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização, Clima e Solo da Área de Estudo

A área de estudo localiza-se na unidade de produção orgânica Sítio do Sol, vinculada à ABIO (Associação de Agricultores Biológicos do Estado do Rio de Janeiro), no município de Seropédica, Rio de Janeiro, sudeste do Brasil, cujas coordenadas geográficas são 22°49'20.3"S 43°44'19.4"W (Figura 1), com uma altitude aproximada de 26 m.

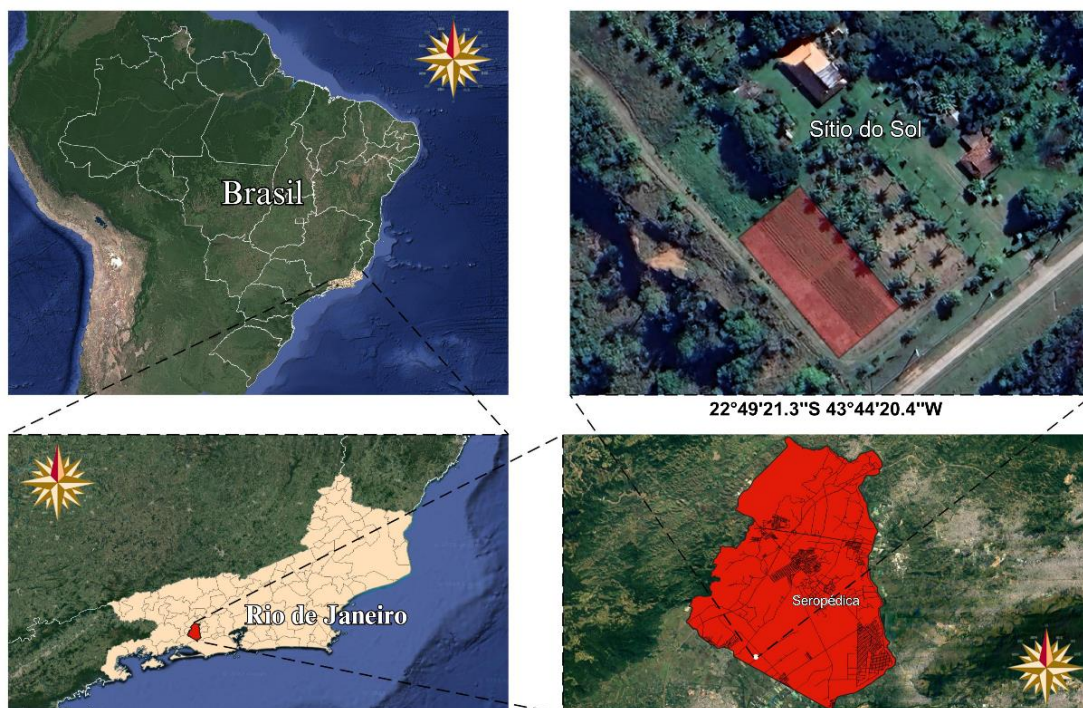


Figura 1. Localização da área de estudos no município de Seropédica-RJ. Fonte: Elaborado pelo autor.

O clima conforme a classificação de Köppen é do tipo Aw, clima tropical de inverno seco e verão chuvoso (INMET, 2023), com temperatura média anual em torno de 23,5 °C, com uma precipitação média anual atinge em torno de 1.200 mm (Cruz, 2005). A vegetação nativa da região é classificada como floresta tropical subcaducifólia (Loss et al., 2011). Os valores médios de precipitação pluviométrica e temperatura da região de estudo no ano de 2019 (climate-data.org, 2019) encontram-se apresentados na Figura 2.

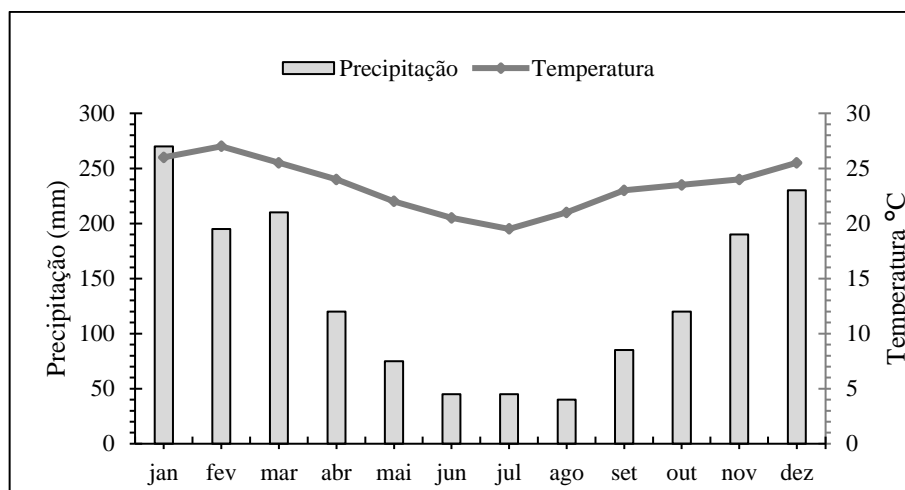


Figura 2. Variação da média mensal da precipitação e da temperatura durante o ano de 2019. Fonte: Dados climáticos obtidos no site climate-data.org. (2019), e elaborado pelo autor.

O solo da área é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (Rocha et al., 2021). A textura da camada arável do solo foi identificada como francoarenosa (Santos et al., 2018). A área experimental tem aproximadamente 1400 m², e o sistema biológico de produção foi adotado desde o ano 2000, com o preparo convencional do solo até ao ano de 2018.

Neste ano iniciou-se o estudo para avaliar o sistema plantio direto (SPD), e de diferentes plantas de cobertura (crotalária, milheto e coquetel) sob sistema orgânico de produção, alternando entre as culturas de milho (*Zea mays*), repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*), jiló (*Solanum aethiopicum*) e quiabo (*Abelmoschus esculentus*) e couve (*Brassica oleracea*). Atualmente a área experimental tem 5 anos de condução.

Em função do estudo ser desenvolvido em uma unidade de produção biológica, os sistemas de cultivo passaram por adaptações, para viabilizar a produção nestes moldes. As coberturas vegetais implementadas antes da cultura tanto no SPD como no SC foram cortadas com auxílio de um roçadeira costal. No SC, o material foi incorporado com enxada rotativa acoplada ao microtrator, na profundidade de 20 cm. No SPD, o material foi mantido sobre o solo. Como não são utilizados produtos químicos para dessecação, e em virtude de a espessa cobertura morta dificultar o plantio, nessas áreas foi passada a enxada rotativa acoplada ao microtrator, superficialmente, em uma camada de 5 cm, para facilitar o plantio direto.

3.1.1 Delineamento experimental

Após o cultivo das coberturas vegetais, a cultura conduzida em todas as parcelas foi o quiabo “Colhe Bem” (*Abelmoschus esculentus*), com espaçamento entre linhas de 0,5 x 1,0 m e uso de irrigação por gotejamento localizado na planta. No momento de coleta das amostras de solo o quiabo estava na fase de produção de frutos (capsulas alongadas).

O delineamento experimental foi em esquema fatorial 2 x 3, sendo 2 sistemas de plantio (Sistema Convencional (SC) e Sistema Plantio Direto (SPD)), 3 plantas de cobertura (coquetel (C), *Crotalária juncea* e milheto). A dimensão das parcelas foi de 24 x 6 m e as subparcelas de 6 x 4 m (Figura 3).

Lado superior – via de acesso dos cavalos														
Via de acesso paralela a estrada vicinal		4 m	4m	4 m	4 m	4 m	4 m	1,5m	4 m	4 m	4 m	4 m	4 m	4 m
	1m	Sistema Convencional						Rua	Sistema Plantio Direto					
	6 m	C1	M	C.J.	F.P.	C2	P.E.		F.P.	C1	P.E.	C2	M	C.J.
		Sistema Plantio Direto							Sistema Convencional					
		P.E.	C2	C1	M	F.P.	C.J.		M	C.J.	F.P.	C1	P.E	C2
		Sistema Plantio Direto							Sistema Plantio Direto					
		M	C.J.	C2	F.P.	P.E	C1		C2	M	P.E.	F.P.	C.J.	C1
		Sistema Convencional							Sistema Convencional					
		C2	F.P.	C1	C.J.	P.E.	M		C1	P.E.	C2	M	C.J.	F.P.

Figura 3. Delineamento experimental da área de estudo. Legenda: Histórico, descrição e localização das áreas de estudo. Fonte: Elaborada pelo autor. Legenda. O delineamento experimental é fatorial 2 x 6, com parcelas subdivididas [(2 tratamentos – Sistema Convencional e Sistema Plantio Direto (parcelas) e 6 tratamentos com diferentes coberturas de solo (subparcelas)], com 3 repetições. Coberturas: C1: Coquetel 1 - Crotalária (*Crotalaria juncea*) (20 kg ha⁻¹), Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformis*) (150 kg ha⁻¹) e Milheto (*Pennisetum glaucum*) (60 kg ha⁻¹); C2: Coquetel 2 - Crotalaria (*Crotalaria juncea*) (10 kg ha⁻¹), Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformis*) (75 kg ha⁻¹) e Milheto (*Pennisetum glaucum*) (30 kg ha⁻¹); P.E: Plantas Espontâneas; M: Milheto (*Pennisetum glaucum*) (60 kg ha⁻¹); CJ: Crotalária juncea (*Crotalaria juncea*) (40 kg ha⁻¹); e F.P: Feijão de porco (*Canavalia ensiformis*) (150 kg ha⁻¹).

No primeiro ano do estudo as três coberturas vegetais avaliadas foram: Coquetel 1 (C1) - 100 % do número de sementes recomendado para cultivo solteiro das espécies que compõem o coquetel (Crotalaria (*Crotalaria juncea*) (20 kg ha⁻¹), Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformis*) (150 kg ha⁻¹) e Milheto (*Pennisetum glaucum*) (60 kg ha⁻¹)); Coquetel 2 (C2) - Utilização de 50% do número de sementes utilizadas no coquetel 1 e Plantas espontâneas (P.E) (Figura 4).

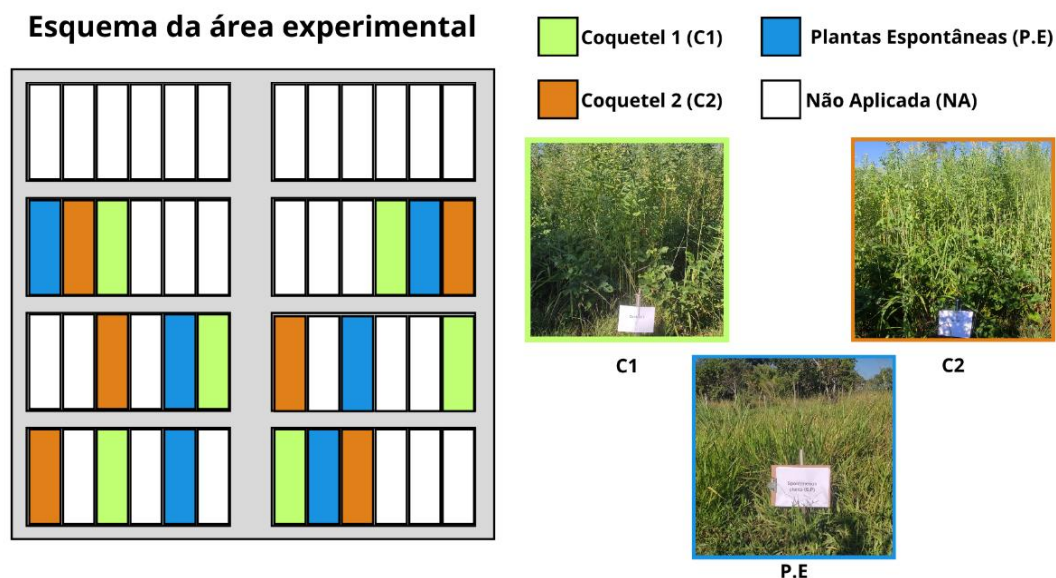


Figura 4. Representação das coberturas vegetais utilizadas no estudo e seu desenho experimental no primeiro ano, para as diferentes coberturas vegetais, em solo de textura leve, no sudeste do Brasil.

No segundo ano as coberturas vegetais avaliadas foram: coquetel (C) – (*Crotalaria juncea*) (10 kg ha^{-1}), Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformis*) (75 kg ha^{-1}) e Milheto (*Pennisetum glaucum*) (30 kg ha^{-1}), Milheto (*Pennisetum glaucum*) (60 kg ha^{-1}) e Crotalaria juncea (*Crotalaria juncea*) (40 kg ha^{-1}). Totalizando dezoito áreas amostrais (2 sistemas de manejo x 3 coberturas vegetais, com 3 repetições) (Figura 5).

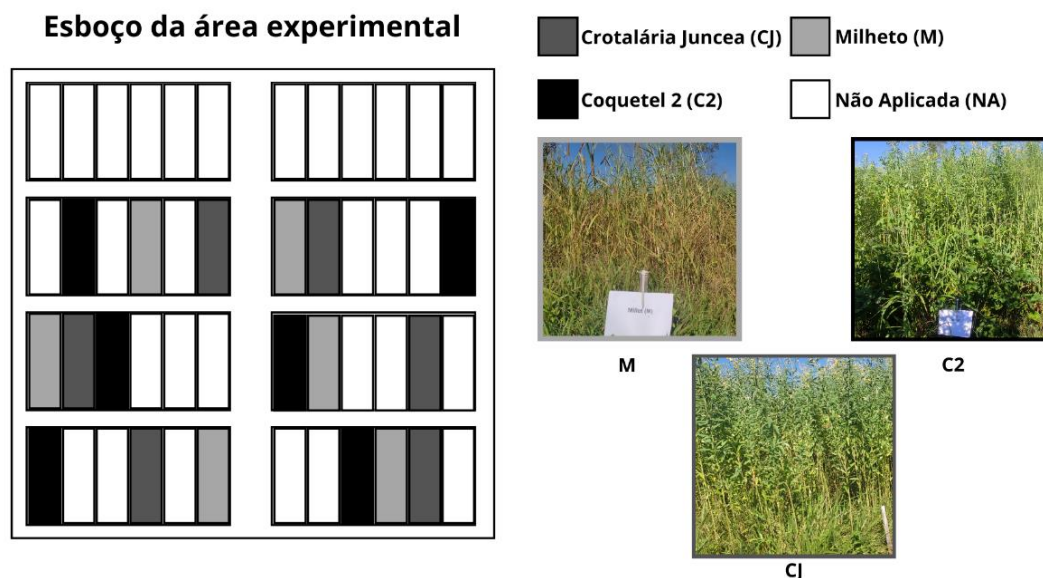


Figura 5. Ilustração das coberturas vegetais utilizadas na área de estudo, e seu delineamento experimental, com diferentes coberturas vegetais, em solo de textura leve, no sudeste do Brasil.

3.1.2. Amostragem dos agregados

Foram realizadas amostragens em dois anos, no mês de janeiro de 2021 e 2022. No primeiro ano foi coletada uma amostra de solo em forma de paralelepípedo, medindo 5 x 10 x 10 cm (altura, largura e comprimento), localizada aleatoriamente em cada parcela, nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm, com o auxílio de pá reta, de forma a preservar a estrutura do solo (Figura 6).

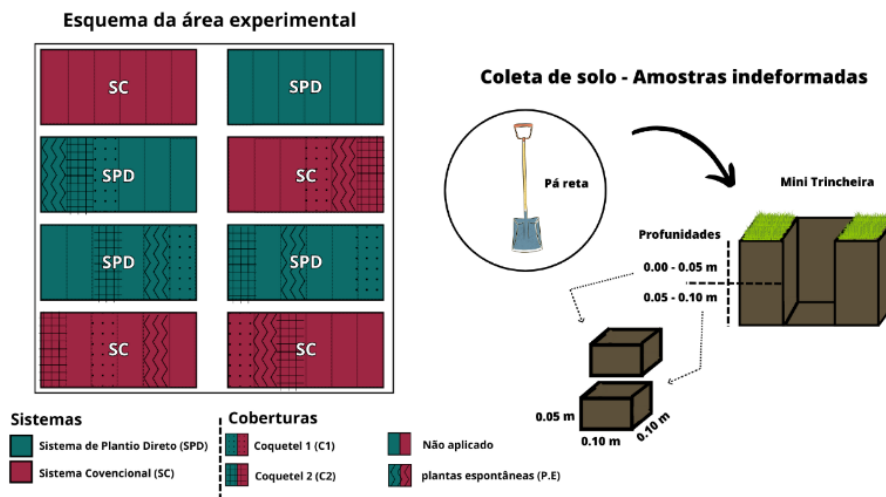


Figura 6. Forma de coleta de solo não perturbado, para o estudo da agregação do solo a 0-5 e 5-10 cm de profundidade, e seu desenho experimental, para diferentes sistemas de cultivo, em solo de textura leve, no sudeste do Brasil.

No segundo ano as amostras na forma de paralelepípedo foram coletadas na linha e retirando junto a raiz da cultura do quiabo (*Abelmoschus esculentus*), medindo 10 x 10 x 10 cm (altura, largura e comprimento), localizadas aleatoriamente em cada parcela, nas profundidades de 0-10 cm, com o auxílio de uma pá reta para preservar a estrutura do solo (Figura 7).

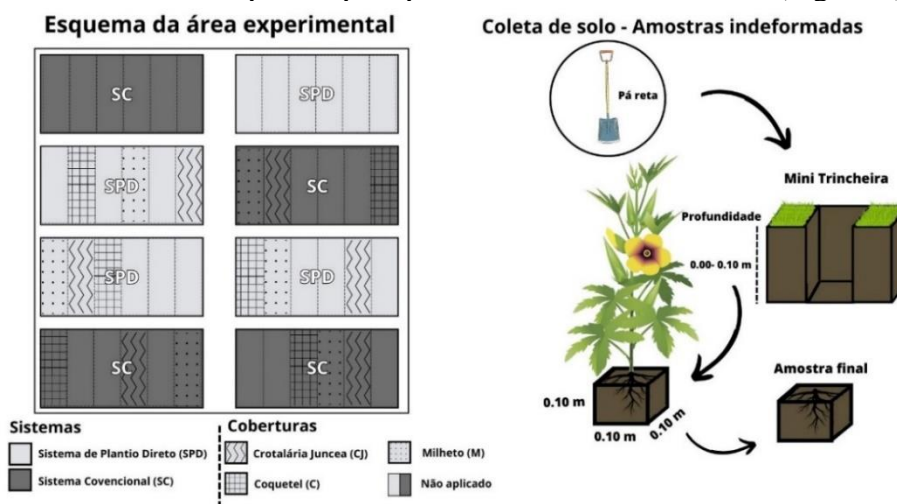


Figura 7. Forma de coleta de amostras de solo indeformada juntamente ao sistema radicular, para o estudo da agregação do solo a 0-10 cm de profundidade, e o seu desenho experimental, para diferentes sistemas de cultivo, em solo de textura leve, no sudeste do Brasil.

As amostras de solo foram acondicionadas em embalagem de isopor térmico para manter em baixa temperatura, sendo transportada para o laboratório para triagem dos agregados de acordo com as vias de formação e, posteriormente, foram mantidas em temperatura controlada até a extração do DNA (Ácido Desoxirribonucleico).

As amostras destinadas as análises químicas e de carbono orgânico, para ambos os anos, foram colocadas em embalagens previamente identificadas e acondicionadas em caixas plásticas para transporte, sendo organizadas de forma a não alterar a estrutura do solo, e finalmente transportadas da área experimental para o laboratório no Departamento de Solos, da UFRRJ. Essas amostras não foram espalhadas e colocadas para secar, como em procedimentos de rotina de análises de solo, mas foram retiradas das embalagens e depositadas sobre folhas de papel, em ambiente naturalmente ventilado e deixadas por período de sete dias.

3.1.3. Vias de formação

A amostra de solo foi passada por um conjunto de peneiras de malhas de 9,7 e 8,0 mm, sendo utilizados para as análises os agregados que ficaram retidos na peneira de 8,0 mm. Os agregados foram examinados sob lupa, separados manualmente e classificados a partir de sua origem mediante método adaptado por Pulleman et al. (2005), com base nos padrões morfológicos estabelecidos por Bullock et al. (1985), em agregados biogênicos e fisiogênicos.

A separação dos agregados seguiu os seguintes critérios: agregados biogênicos - aqueles em que é possível a visualização de formas arredondadas, providas do trato intestinal dos indivíduos da macrofauna do solo, principalmente Oligochaeta (minhocas) ou aqueles em que é possível visualizar a presença e atividade de raízes (Figura 7).

Os agregados fisiogênicos foram definidos como aqueles nos quais se observam formas angulares resultantes da interação entre carbono, argila, cátions e ciclos de umedecimento e secagem do solo (Figura 8). Após a separação dos agregados, foram determinados o percentual e a contribuição relativa em massa, de cada tipo de agregado.

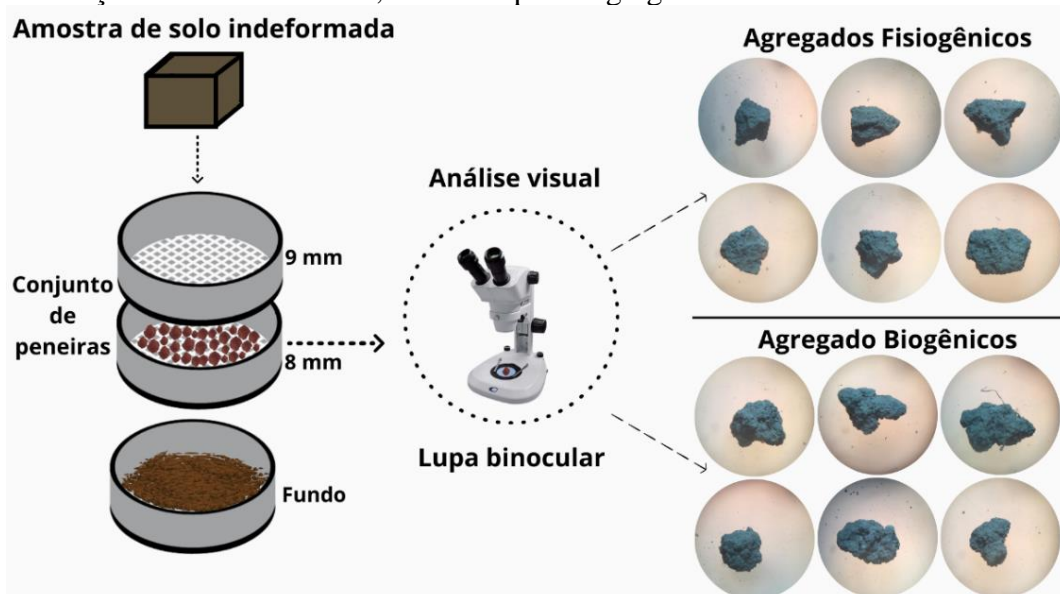


Figura 8. Modelo esquemático de separação e classificação de agregados e a representação da distinção entre agregados biogênicos e fisiogênicos de amostras de solo não perturbado de textura leve do sudeste do Brasil.

3.2. Caracterização dos Atributos Químicos

Após a classificação e quantificação dos agregados do solo, as amostras foram destorroadas e passadas por peneira de 2,0 mm de malha, obtendo-se assim a fração terra fina seca ao ar (TFSA), utilizada para as análises químicas e da matéria orgânica do solo (MOS) e suas frações. As análises químicas foram: pH e teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , K^+ , Na^+ , P e H+Al. O pH em água foi determinado na proporção de 1:2,5 de solo:água, deixando o solo em contato com água destilada durante cerca de uma hora, com leitura posterior em pHmetro de bancada.

Os elementos Ca^{+2} , Mg^{+2} e Al^{+3} trocáveis foram extraídos com cloreto de potássio (KCl) 1 mol L^{-1} , sendo analisados por titulometria. O P, Na^+ e K^+ foram extraídos pelo método Mehlich-1 e analisados por colorimetria (P) e fotometria de chama (K^+ e Na^+). Para a acidez potencial (H+Al), foi feita a extração com KCl 1 mol L^{-1} , e os elementos analisados por titulometria (Teixeira et al., 2017).

Foram determinados também os teores de carbono orgânico total (COT), por meio da oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio a 0,2 mol L^{-1} em meio ácido e pela titulação por sulfato ferroso amoniacal a 0,1 mol L^{-1} , segundo Yeomans & Bremner (1988).

3.3. Fracionamento Físico Granulométrico da MOS

Para o fracionamento granulométrico da MOS, foram utilizadas 20 g de TFSA e 60 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L^{-1}), sendo a suspensão agitada durante 15 horas em agitador horizontal, a 160 rpm (Cambardella & Elliott, 1992). A seguir, o material foi passado em peneira de 53 μm com auxílio de jato de água. O material retido na peneira, que consiste no carbono orgânico particulado (COp) associado à fração areia, foi seco em estufa a 60 °C, quantificado em relação a sua massa, moído em gral de porcelana e analisado em relação ao teor de COT segundo Yeomans & Bremner (1988). O material que passou pela peneira de 53 μm , que consiste no carbono orgânico associado aos minerais (COam) das frações silte e argila, foi obtido por diferença entre o COT e COp.

3.4. Fracionamento Físico Densimétrico da MOS

As frações leves foram extraídas do solo por meio de solução de iodeto de sódio (NaI) com densidade de 1,80 g cm^{-3} ($\pm 0,02$). Para isto, foram pesadas 5 g da amostra de TFSA em frascos de centrífuga de 50 mL e adicionados 35 mL de NaI.

Os frascos foram homogeneizados manualmente por 30 segundos de maneira que as frações orgânicas menos densas ficassem na superfície da solução. A seguir, as amostras foram centrifugadas a 18.000 rpm por 15 minutos, em temperatura de 18 °C, a fim de promover a sedimentação das partículas minerais do solo. A fração orgânica sobrenadante presente na solução (fração leve livre) foi succionada juntamente com a solução de NaI, e imediatamente separada por filtração a vácuo (Sistema Asséptico Sterifil, 47 mm – Millipore) com filtros de fibra de vidro (47 mm de diâmetro; 2 microns – Whatman tipo GF/A), previamente pesados (Pinheiro et al., 2004).

A fração coletada foi lavada com água destilada, para eliminar o excesso de NaI na amostra e no filtro. A fração orgânica, juntamente com o filtro, foi posteriormente secada a 65 °C, pesada e macerada em almofariz. Sendo analisado o carbono orgânico segundo o método de Yeomans & Bremner (1988).

3.5. Análise da Diversidade Bacteriana

A extração do DNA total das amostras dos solos foi feita utilizando o kit DNA PowerSoil (MO Bio Laboratories Inc.), seguindo o protocolo do fabricante. A preparação da biblioteca de amplicons e o sequenciamento da região variável V3-V4 do gene 16S rRNA foi realizada pela Novogene Corporation Inc. (USA).

Para a aferição inicial da qualidade dos dados sequenciados, utilizou-se o programa "FastQC" (v.0.11.9; Andrews, 2010). Adicionalmente, as bibliotecas foram submetidas as funções "fastx_info" e "fastq_eestats2", do programa "USEARCH" (v.11.0.667; Edgar, 2010), onde constatou-se a distribuição de qualidades, tamanhos de sequência e erros esperados. Neste mesmo programa, utilizou-se a função "search_oligodb", fornecendo como parâmetros as sequências do par de primers referentes a região V3-V4 do gene 16S rRNA (341F '5-CCTACGGGNGGCWGCAG-3'; 805R '5- GACTACHVGGGTATCTAATCC-3'), de modo a detectar a presença e posição desses nas leituras. Em seguida, realizou-se a remoção dos primers com o programa "Atropos" (v.1.1.31; Didion et al., 2017), filtrando sequências cujos primers não estavam presentes ("--discard-untrimmed"). A porção final das sequências foram cortadas de modo a assegurar uma melhor qualidade. Para isso, utilizou-se o programa "Fastp" (v.0.23.2; Chen et al., 2018) de modo a remover até 20 ("--max_len1 230") e 30 ("--max_len2 220") bases finais de baixa qualidade das bibliotecas *forward* e *reverse*, respectivamente. Além disso, leituras completas cuja média total do Phred Score (Q) fosse inferior a Q20 foram removidas ("--average_qual 20"). Por fim, os pares de bibliotecas foram fundidas por sobreposição, através do programa "Flash" (v.1.2.11; Magoc & Salzberg, 2011), aceitando uma sobreposição mínima de 10 bases ("--min-overlap 10").

As leituras fundidas com tamanhos entre 390 e 430 bases foram submetidas ao pipeline "DADA2" (Callahan et al., 2016). Para isso, utilizamos o pacote "dada2" (v.1.22.0) do programa estatístico "R" (v.4.1.2; R Core Team, 2020). Inicialmente, as leituras foram filtradas pela função "filterAndTrim", considerando um erro esperados de 4 ("maxEE = 4"). Em seguida, estimou-se as probabilidades de erros em bases ("learnErrors") e, então, corrigiu-se as sequências com base no modelo obtido ("dada"). Dessa forma, foram designadas as Sequências Variantes de Amplicons (ASVs) presentes em cada amostra, as quais foram investigadas e filtradas quanto a presença de possíveis sequências quiméricas ("removeBimeraDenovo").

As ASVs foram anotadas taxonomicamente contra o banco de dados de sequências-referências SILVA (v.138; Quast et al., 2012), com suporte adicional dos bancos RDP (v.18; Cole et al. 2014) e GTDB (v.202; Parks et al. 2022) para detecção de contaminantes. Foram filtradas ASVs não-anotadas como bactérias ou arqueias, bem como aquelas cuja anotação remetia a cloroplastos ou mitocôndrias. Além disso, ASVs prevalentes em apenas uma única réplica, foram desconsideradas.

As contagens e anotações taxonômicas das ASVs foram exportadas no formato "phyloseq" (Pacote R "phyloseq"; v.1.38.0; McMurdie & Holmes, 2013), o qual foi, posteriormente, transformado em dados composicionais ("method = 'total'") pela função "phyloseq_standardize_otu_abundance" do pacote R "metagMisc" (v.0.04; Mikryukov, 2022).

3.6. Análises Estatísticas

3.6.1. Atributos químicos

Os dados foram submetidos às análises de normalidade e homogeneidade, com os testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. As médias foram comparadas por meio do teste Tukey, ao nível de 5% de significância. As variáveis que não atenderam os pressupostos

estatísticos, foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, ao nível de 5% de significância.

Para as variáveis que atenderem as pressuposições de normalidade, foi realizada a análise multivariada, mais precisamente a análise de componentes principais, para obter melhor explicação das variáveis em função dos diferentes sistemas de manejo avaliados. As análises dos dados foram realizadas no programa R Core Team (2020).

3.6.2. Análises descritivas e estatísticas do microbioma

A avaliação da efetividade da amostragem foi inferida pela obtenção das curvas de rarefação, pelo Microbiome Analyst (Dhariwal et al, 2017). A alfa diversidade foi estimada através averiguação da riqueza observada e de medidas de diversidade (índice de Shannon e Gini-Simpson), obtidas com a função "alpha" do pacote R "microbiome" (v.1.16.0; Lahti & Shetty, 2012). As medidas obtidas foram comparadas estatisticamente através do teste de Kruskal-Wallis ($p\text{-valor} \leq 0.1$) e o teste *post-hoc* Fisher's LSD foi utilizado para a comparação par-a-par e agrupamento das médias ($p\text{-valor} \leq 0.1$). Ambos foram implementados pela função "kruskal" do pacote R "agricolae" (v.1.3.5; Mendiburu, 2021).

A análise de beta diversidade se deu pelo cálculo das dissimilaridades de Bray-Curtis. Realizou-se uma análise PERMANOVA para avaliar se houve diferença entre os tratamentos ($p\text{-valor} \leq 0.1$). A fim de reduzir a multidimensionalidade das distâncias, realizou-se uma Análise de Coordenadas Principais (PCoA), da qual utilizou-se posteriormente para a plotagem do gráfico, utilizando o Microbiome Analyst (Dhariwal et al, 2017).

A avaliação dos táxons diferencialmente abundantes permitiu identificar aqueles cuja presença foi significativamente superior em um tratamento quando comparado com os demais. Para isso, foi utilizada a abordagem LEfSE do Microbiome Analyst, um algoritmo para descoberta e explicação de biomarcadores que caracterizam as diferenças entre duas ou mais condições biológicas (Segata et al., 2011). Foi considerado o valor de $p < 0,01$ e Análise Linear Discriminante (LDA) $> 2,0$ (Dhariwal et al, 2017).

4. CAPÍTULO I

AGREGADOS BIOGÊNICOS E FISIOGÊNICOS COMO INDICADORES DE QUALIDADE EM SOLOS DE TEXTURA ARENOSA EM ÁREAS DE AGRICULTURA ORGÂNICA

*Capítulo publicado como artigo em “Revista Brasileira de Ciência do Solo”.

Silva, T. P. D., Morais, I. D. S., Santos, G. L. D., Zonta, E., Pinto, L. A. D. S. R., Fagundes, H. D. S., Pereira, M. G. Biogenic and physicogenic aggregates as indicators of quality in soils with sandy texture in areas of organic agriculture. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 47, e0230007, 2023.

4.1. RESUMO

Os solos arenosos ou de textura leve têm grande expressão nas áreas agrícolas do Brasil e do mundo. Na Baixada Fluminense no Estado do Rio de Janeiro, são marcantes os solos com textura leve nos horizontes superficiais, e boa parte dessas áreas é destinada à produção de hortaliças, utilizando métodos convencionais de cultivo. A textura arenosa é um dos grandes desafios para a agricultura, devido à baixa capacidade de retenção de água proporcionada ao solo, à rápida decomposição da matéria orgânica e à intensa perda de nutrientes por lixiviação. Nessas áreas, por vezes, observa-se a ação de processos erosivos, seja a erosão hídrica ou eólica. As práticas realizadas na agricultura convencional podem acentuar esses processos. Este estudo teve como objetivo avaliar a influência de diferentes sistemas de manejo do solo, com diferentes coberturas vegetais, nas vias de formação de agregados, nos teores de nutrientes neles contidos e nas frações de matéria orgânica, com o objetivo de utilizar esses atributos como indicadores da qualidade do solo. O estudo foi realizado em uma unidade de produção orgânica, com sistema plantio direto (SPD) e sistema convencional (SC), sendo avaliadas três coberturas vegetais, a saber: coquetel de sementes 1 (C1) (Crotalária (*Crotalaria juncea*) (20 kg ha⁻¹), Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformis*) (150 kg ha⁻¹) e Milheto (*Pennisetum glaucum*) (60 kg ha⁻¹)), coquetel de sementes 2 (C2) (com 50% da quantidade de sementes utilizadas em C1) e Plantas espontâneas (P.E). Amostras não perturbadas foram coletadas nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm e, a partir dessas amostras, os agregados com diâmetro entre 9,7 e 8,0 mm foram classificados de acordo com a via de formação (Biogênica ou Fisiogênica). A partir destes, foram quantificados os atributos químicos (pH, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, P, Na⁺, K⁺) e também as frações de carbono (carbono orgânico total - COT, carbono orgânico associado a minerais - COam), carbono orgânico particulado - COp e carbono da fração leve livre - CFLL). Com base nos resultados, verificou-se que a porcentagem de agregados biogênicos foi maior do que a de agregados fisiogênicos na profundidade de 0-5 cm, não sendo verificada influência da cobertura vegetal ou do sistema de manejo. Os atributos químicos não diferiram significativamente entre as vias de formação de agregados. O SC, em sua maior parte, foi o sistema em que se observaram os maiores valores dos atributos químicos avaliados e, em geral, os revestimentos C2 e P.E foram os que proporcionaram melhorias para os níveis de nutrientes e o teor de carbono.

Palavra-chave: Manejo do solo. Sistemas conservacionistas. Indicadores edáficos.

4.2. ABSTRACT

Sandy texture soils have a great expression in Brazil's and the world's agricultural areas. In the *Baixada Fluminense*, State of Rio de Janeiro, soils with a sandy texture of the surface horizons are common, and a good part of these areas is destined to produce vegetables, using conventional methods for cultivation. The sandy texture is one of the great challenges for agriculture, due to the low water retention capacity provided to the soil, the rapid decomposition of organic matter, and the intense loss of nutrients by leaching. In these areas, the action of erosive processes is sometimes observed, whether water or wind erosion. The practices carried out in conventional agriculture can accentuate these processes. This study aimed to evaluate the influence of different soil management systems, with different vegetation covers, on the pathways of aggregate formation, on the nutrient contents contained therein and on the organic matter fractions, with the objective of using these attributes as indicators of soil quality. The study was carried out in an organic production unit, with no-till system (NT) and conventional system (CT), 3 vegetal covers were evaluated, namely; seed cocktail 1 (C1) (*Crotalaria juncea*) (20 kg ha⁻¹), Jack Bean (*Canavalia ensiformis*) (150 kg ha⁻¹) and millet (*Pennisetum glaucum*) (60 kg ha⁻¹), and seed cocktail 2 (C2) (with 50% of the number of seeds used in C1), and spontaneous plants (S.P). Undisturbed samples were collected at depths of 0–5 and 5–10 cm, and from these samples' aggregates with a diameter between 9.7 and 8.0 mm were classified according to the formation route (Biogenic or Physicogenic). From these, the chemical attributes were quantified (pH, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, P, Na⁺, K⁺), and the carbon fractions (total organic carbon – TOC, mineral-associated organic carbon – MAOC), particulate organic carbon – POC, and free light fraction carbon – LFC). Based on the results, it was verified that the percentage of biogenic aggregates was higher the physicogenic one in the depth of 0–5 cm, not being verified influences of the vegetal coverage or the management system. Chemical attributes did not differ significantly between aggregate formation pathways. The CT, for the most part, was the system in which the highest values of chemical attributes evaluated were observed, and in general, the C2 and S.P coatings were the ones that provided the greatest improvements for nutrients and carbon content.

Keywords: Soil management. Conservation systems. Edaphic indicators.

4.3. INTRODUÇÃO

A produção agrícola é fundamental para o desenvolvimento e a manutenção da sociedade como um todo. Entretanto, para atingir a produtividade máxima sem a necessidade de avançar sobre novas áreas, é necessário desenvolver técnicas de manejo que proporcionem melhorias nos solos cultivados. No Estado do Rio de Janeiro, sudeste do Brasil, um dos principais obstáculos ao aumento da produtividade é a textura leve da maior parte dos solos, observada nos horizontes superficiais. Os solos de textura leve representam aproximadamente 900 milhões de hectares em todo o mundo (Yost & Hartemink, 2019). De acordo com Donagemma et al. (2016), mais de 8% dos solos no Brasil têm textura leve em sua camada arável, uma porcentagem significativa.

Os desafios associados ao manejo desses solos estão relacionados à sua menor capacidade de retenção de água, à rápida decomposição da matéria orgânica e à perda de nutrientes por lixiviação, bem como à sua suscetibilidade aos processos de erosão (hídrica e eólica). Para alcançar níveis mais altos de produtividade nesses solos, um conjunto de práticas deve ser adotado, com ênfase especial naquelas que contribuem para aumentar o teor de matéria orgânica do solo (MOS).

Entre as práticas de manejo que podem ser utilizadas para promover melhorias nesses solos de textura leve, pode-se destacar o sistema plantio direto (SPD), que promove a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, atuando também na mitigação dos efeitos causados pelas emissões de gases de efeito estufa e, quando implementado e manejado de forma criteriosa, é ecologicamente sustentável (Silva et al., 2022). Em contrapartida, o sistema convencional (SC), devido à intensa perturbação do solo, resulta em uma menor retenção de MOS em comparação com o SPD (Dewi et al., 2022).

Em associação com a SPD pode ser implementada a agricultura orgânica, que não utiliza insumos químicos, usados principalmente para adubação e controle de pragas e doenças, adotando apenas insumos orgânicos, trazendo muitos benefícios ao solo, como a redução da taxa de mineralização da matéria orgânica, a redução da perda de nutrientes também por lixiviação, o aumento da diversidade da macro e micro fauna, culminando na melhoria dos atributos físicos do solo, como a agregação do solo (Van Rijssel et al., 2022).

A matéria orgânica é fundamental para a avaliação da qualidade do solo, que é considerado o maior reservatório de carbono do planeta, e grande parte dele está na MOS, e uma das formas de preservar essa fração no solo é feita pela proteção física que os agregados proporcionam, com a oclusão da MOS (Rossi et al., 2023). Além disso, a agregação do solo é um importante indicador da qualidade dos atributos edáficos (Oliveira Silva et al., 2020). A estrutura do solo tem grande importância na manutenção de água, nutrientes e oxigênio para as raízes, além de proporcionar condições de resistência mecânica favoráveis ao crescimento radicular (Beutler et al., 2001; Pereira et al., 2010; Schiavo et al., 2011; Bell e Moore, 2012; Aziz et al., 2013; Loss et al., 2014).

Os agregados podem ser classificados de acordo com seus padrões morfológicos e/ou com as vias de formação desses agregados, que são chamados de fisiogênicos, que são formados a partir de processos físicos e químicos do solo, e biogênicos, que são formados a partir da ação de agentes bióticos, como engenheiros do solo, microbiota e cobertura vegetal, especialmente a interação com as raízes (Bullock et al., 1985; Pulleman et al., 2005; Pereira et al., 2021). O sistema radicular das coberturas vegetais afeta a agregação do solo de forma diferente entre as plantas; no entanto, ainda não se conhece profundamente como essa diferenciação ocorre entre as plantas (York et al., 2016).

O uso do parâmetro morfológico, a distinção de agregados por vias de formação como indicadores da qualidade do solo, tem mostrado resultados positivos, nos quais é possível observar diferenças no teor de nutrientes e, principalmente, de carbono e suas frações nas diferentes vias de formação, resultados positivos esses associados principalmente a agregados de origem biogênica (Loss et al., 2017; Lima et al., 2020; Rossi et al., 2023). Em um estudo recente em áreas de pastagem e de produção de grãos em camadas superficiais de textura leve, Pinto et al. (2022) constataram que a agregação biogênica proporcionou uma maior concentração de carbono orgânico lábil e contribuiu para a estabilidade elevada dos macroagregados e para os teores de proteína do solo relacionados à glomalina.

Considerando a importância desses indicadores, a FAO publicou em 2020 um documento oficial intitulado "Protocolo para a avaliação dos sistemas de manejo sustentável do solo" (FAO-ITPS, 2020), que destaca o carbono orgânico do solo como um indicador que reflete o estado químico, físico e biológico do solo, que responde a mudanças por meio da implementação de práticas de manejo sustentável do solo (SSM). Ele tem uma relação direta com outros atributos do solo, como a disponibilidade de nutrientes, a estrutura e a agregação, a porosidade, a capacidade de retenção de água e a presença de macro, meso e microfauna.

Devido à relevância do papel da agregação do solo e à importância dos sistemas conservacionistas na promoção da melhoria dos atributos do solo, este estudo tem como objetivo utilizar os agregados formados por diferentes vias (biogênica e fisiogênica) como indicadores da qualidade do solo em áreas de agricultura orgânica com SPD, em solos de textura leve na camada arável, na baixada fluminense.

4.4. RESULTADOS

4.4.1. Vias de formação

Foi observada uma porcentagem significativamente maior de agregados biogênicos em comparação com os fisiogênicos na profundidade de 0 a 5 cm (Figura 9 - A), enquanto na profundidade de 5 a 10 cm não foi observada diferença significativa (Figura 9 - B). Para a profundidade de 0 a 5 cm, foram observados valores que variaram de 64% e 35% para agregados biogênicos e fisiogênicos, respectivamente. Já para a profundidade de 5-10 cm, os valores variaram entre 58 e 41%, para agregados biogênicos e fisiogênicos, respectivamente.

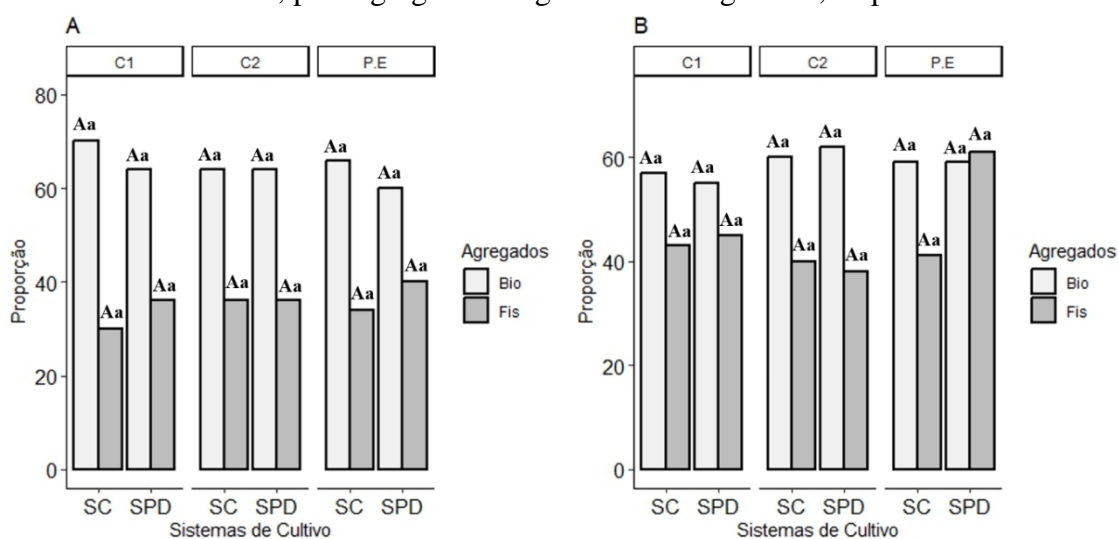


Figura 9. Porcentagem de agregados biogênicos (Bio) e fisiogênicos (Fis) de áreas sob diferentes sistemas de cultivo em solos de textura leve, sudeste do Brasil. (A) 0-5 cm e (B) 5-10 cm de profundidade. A medição corresponde a 100 g de agregados de solo com tamanho de 9,7 a 8,0 mm antes da separação entre biogênicos e fisiogênicos. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para formações de veredas e minúsculas para sistemas de cultivo, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. SPD: sistema plantio direto; SC: plantio convencional; Coquetel 1 (C1): 100% da quantidade de sementes recomendada para cada espécie que compõe o coquetel (*Crotalaria juncea*) (20 kg ha⁻¹), Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformis*) (150 kg ha⁻¹) e Milheto (*Pennisetum glaucum*) (60 kg ha⁻¹); Coquetel 2 (C2): 50 % da quantidade de sementes recomendada para cada espécie que compõe o coquetel (*Crotalaria juncea*) (10 kg ha⁻¹), Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformis*) (75 kg ha⁻¹) e Milheto (*Pennisetum glaucum*) (30 kg ha⁻¹); e Plantas espontâneas (P.E).

4.4.2. Atributos químicos nos agregados

De forma geral, os diferentes sistemas de manejo apresentaram uma reserva baixa de nutrientes nos agregados (Tabela 1).

Os valores de pH em todos os tratamentos foram superiores a 5,8, com destaque para as áreas com cobertura com P.E, que apresentou resultados superiores em todos os tratamentos, mas não distinguindo significativamente entre os sistemas e a vias de formação. Em concordância com o padrão observado para os valores de pH, os teores de alumínio foram iguais a zero em todas as áreas.

Os teores de H + Al foram baixos, variando 2,10 a 3,60 cmol_c kg⁻¹ e 1,80 a 3,60 cmol_c kg⁻¹, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente (Tabela 1), não sendo verificada diferença significativa na profundidade de 5-10 cm, entre os sistemas e a vias de formação, enquanto em 0-5 cm, na área de SC foram observados valores significativamente os menores.

Quanto aos teores de Ca⁺², os resultados variaram de 0,30 a 1,10 cmol_c kg⁻¹ e 0,25 a 1,60 cmol_c kg⁻¹, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente, não sendo observada diferença significativa entre os sistemas e a vias de formação. Para o Mg⁺², os valores variaram de 1,10 a 2,35 cmol_c kg⁻¹ e 0,95 a 2,50 cmol_c kg⁻¹, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente, sendo o SC aquele no qual se observaram valores significativamente superiores ao SPD, em ambas as profundidades.

O conteúdo de K⁺, variou de 0,16 a 0,81 cmol_c kg⁻¹ e 0,08 a 0,52 cmol_c kg⁻¹, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente, não sendo verificada diferença significativa entre os sistemas e a vias de formação. Os teores de Na⁺, variaram de 0,09 a 0,15 cmol_c kg⁻¹ e 0,03 a 0,11 cmol_c kg⁻¹, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente, não houve diferença significativa.

Os valores de P variaram de 0,51 a 6,94 mg kg⁻¹ e 0,23 a 5,51 mg kg⁻¹, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm respectivamente. Em ambas as profundidades foi observada diferença significativa entre os sistemas de preparo, sendo os valores verificados para o SC superiores ao SPD. Não foram observadas diferenças entre as coberturas e as vias de formação.

Quanto aos valores de SB estes variaram de 2,12 a 3,70 cmol_c kg⁻¹ e 1,73 a 3,46 cmol_c kg⁻¹, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm respectivamente, na profundidade 0-5 cm observa-se diferença significativa entre os sistemas de preparo, sendo os maiores valores verificados na área de SC, não havendo diferença entre as coberturas e as vias de formação.

O valor T, variou de 5,03 a 6,50 cmol_c kg⁻¹ e 4,65 a 6,24 cmol_c kg⁻¹, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm respectivamente, na profundidade de 5-10 cm pode se observar diferença significativa entre os sistemas de preparo, sendo os maiores valores verificados em SPD. Quanto ao valor V%, este variou entre 38 a 60% e 32 a 64%, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm respectivamente, na produtividade de 0-5 cm pode se observar diferença significativa entre os sistemas de preparo, sendo os maiores valores verificados em SC.

Em relação a profundidade, ocorreu variação entre as profundidades de 0-5 e 5-10 cm para alguns dos atributos avaliados, a saber: Ca⁺², P e SB, T e V%. Na profundidade de 0-5 cm, as áreas com SC foram as que apresentaram melhores valores para os atributos químicos, diferindo significativamente das áreas de SPD (Tabela 1). Pode se observar de forma geral que a cobertura que proporcionou melhores condições para o desenvolvimento vegetal foi a com P.E (Tabela 1).

Para a camada de 5-10 cm, os únicos atributos que diferiram estatisticamente foram o valor T, o P e o pH. Os resultados obtidos sugerem menor influência do manejo e das coberturas vegetais sobre os atributos químicos do solo. Neste estudo não se identificou diferença significativa entre as coberturas vegetais e os atributos químicos entre as vias de formação.

Tabela 1. Atributos químicos intra-agregados nos diferentes sistemas.

0-5 cm										
Sistema	Cober.	Via	pH	Ca	Mg	H+Al	SB	Valor T	P	V%
						cmol _c kg ⁻¹	mg kg ⁻¹			
SPD	C1	Bio	5,88 Ba	1,80 Ba	0,65 Aa	3,07 Aa	2,92 Ba	5,98 Aa	3,20 Ba	48 Ba
	C2		5,88 Ba	1,63 Ba	0,78 Aa	3,17 Aa	3,00 Ba	6,17 Aa	2,48 Ba	48 Ba
	P.E		6,21 Ba	1,63 Ba	0,83 Aa	2,70 Aa	2,92 Ba	5,62 Aa	2,57 Ba	52 Ba
SC	C1		6,24 Aa	1,55 Aa	0,70 Aa	2,67 Ba	2,82 Aa	5,49 Aa	2,86 Aa	51 Aa
	C2		6,19 Aa	1,50 Aa	1,02 Aa	2,83 Ba	2,96 Aa	5,79 Aa	3,17 Aa	51 Aa
	P.E		6,76 Aa	1,75 Aa	0,90 Aa	2,27 Ba	3,02 Aa	5,29 Aa	5,13 Aa	57 Aa
SPD	C1	Fis	5,82 Ba	1,69 Ba	0,70 Aa	2,97 Aa	2,84 Ba	5,81 Aa	2,74 Ba	49 Ba
	C2		5,82 Ba	1,58 Ba	0,78 Aa	3,17 Aa	2,89 Ba	6,06 Aa	2,35 Ba	47 Ba
	P.E		6,15 Ba	1,67 Ba	0,77 Aa	2,83 Aa	2,89 Ba	5,73 Aa	2,15 Ba	50 Ba
SC	C1		6,28 Aa	1,65 Aa	0,62 Aa	2,60 Ba	2,86 Aa	5,46 Aa	2,63 Aa	52 Aa
	C2		6,24 Aa	1,70 Aa	0,70 Aa	2,70 Ba	2,80 Aa	5,50 Aa	2,73 Aa	50 Aa
	P.E		6,54 Aa	1,67 Aa	1,02 Aa	2,30 Ba	3,10 Aa	5,40 Aa	4,96 Aa	57 Aa
5-10 cm										
Sistema	Cober.	Via	pH	Ca	Mg	H+Al	SB	Valor T	P	V%
						cmol _c kg ⁻¹	mg kg ⁻¹			
SPD	C1	Bio	5,86 Ba	1,36 Aa	0,68 Aa	2,80 Aa	2,30 Aa	5,10 Aa	1,49 Ba	45 Aa
	C2		5,70 Ba	1,67 Aa	0,53 Aa	3,23 Aa	2,44 Aa	5,67 Aa	0,94 Ba	43 Aa
	P.E		6,03 Ba	1,53 Aa	0,70 Aa	2,90 Aa	2,52 Aa	5,42 Aa	1,08 Ba	46 Aa
SC	C1		6,08 Aa	1,40 Aa	0,88 Aa	2,60 Aa	2,55 Aa	5,15 Ba	1,42 Aa	49 Aa
	C2		5,99 Aa	1,70 Aa	0,82 Aa	2,80 Aa	2,85 Aa	5,65 Ba	1,83 Aa	50 Aa
	P.E		6,73 Aa	1,78 Aa	1,05 Aa	2,03 Aa	3,11 Aa	5,14 Ba	3,12 Aa	60 Aa
SPD	C1	Fis	5,91 Ba	1,62 Aa	0,58 Aa	2,73 Aa	2,47 Aa	5,20 Aa	1,34 Ba	47 Aa
	C2		5,82 Ba	1,47 Aa	0,58 Aa	3,13 Aa	2,29 Aa	5,42 Aa	0,90 Ba	42 Aa
	P.E		6,10 Ba	1,52 Aa	0,65 Aa	2,80 Aa	2,44 Aa	5,24 Aa	1,00 Ba	46 Aa
SC	C1		6,09 Aa	1,63 Aa	0,80 Aa	2,70 Aa	2,83 Aa	5,53 Ba	1,36 Aa	51 Aa
	C2		6,10 Aa	1,58 Aa	0,80 Aa	2,67 Aa	2,58 Aa	5,25 Ba	1,60 Aa	49 Aa
	P.E		6,78 Aa	1,75 Aa	0,92 Aa	2,00 Aa	2,90 Aa	4,90 Ba	3,19 Aa	59 Aa

Legenda: Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para sistemas de cultivo e minúsculas para as vias de formação, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. SPD: Sistema Plantio Direto; SC: Sistema Convencional; Fis: Fisiogênico; Bio: Biogênico; Coquetel 1 (C1): 100 % da quantidade sementes recomendadas para cada espécie que compõem o coquetel (Crotalária (*Crotalaria juncea*), Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformis*) e Milheto (*Pennisetum glaucum*)); Coquetel 2 (C2): 50 % da quantidade sementes recomendadas para cada espécie que compõem o coquetel (Crotalária (*Crotalaria juncea*), Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformis*) e Milheto (*Pennisetum glaucum*)); e Plantas espontâneas (P.E).

4.4.3. Carbono orgânico no solo

Os valores de carbono orgânico total (COT) variaram de 11,18 a 33,88 g kg⁻¹ e de 6,90 a 37,66 g kg⁻¹, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente, sem diferenças significativas entre os tipos de agregados, cobertura vegetal e sistema de preparo do solo em nenhuma das áreas (Figura 10 - A e B). Quanto aos teores de CO_p, os teores variaram de 4,13 a 14,24 g kg⁻¹ e de 1,21 a 18,66 g kg⁻¹, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente, sem diferenças significativas (Figura 11 - A e B).

Para o carbono orgânico associado a minerais (CO_{am}), os valores estavam entre 0,66 e 26,46 g kg⁻¹ e 0,40 e 30,97 g kg⁻¹, nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm, respectivamente, sem significância (Figura 11 - C e D). Para os valores de CFLL, variando de 0,19 a 1,73 g kg⁻¹ e 0,04 a 0,87 g kg⁻¹, nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm, respectivamente, não foram observadas diferenças significativas (Figura 11 - E e F).

Os níveis de CO_{am} foram maiores em comparação com o carbono orgânico particulado (CO_p) em todos os sistemas de manejo, independentemente do tipo de agregado, da cobertura vegetal e da profundidade (Figura 10).

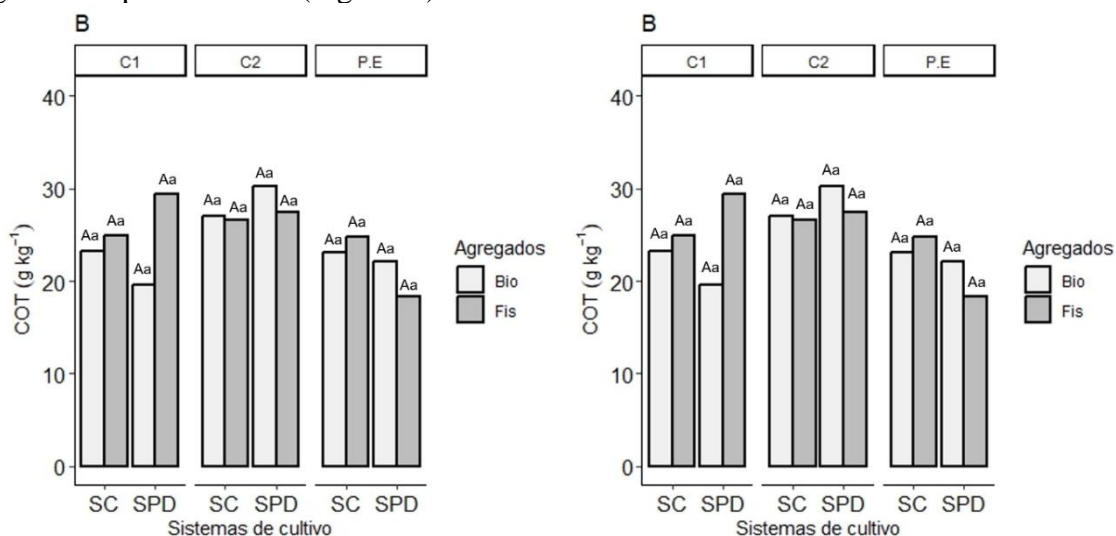


Figura 10. Valores de carbono orgânico total (COT) de agregados biogênicos (Bio) e fisiogênicos (Fis) de áreas sob diferentes sistemas de cultivo em solos de textura leve, sudeste do Brasil. (A) 0-5 cm e (B) 5-10 cm de profundidade. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para formações de veredas e minúsculas para sistemas de cultivo, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. SPD: Sistema plantio direto; SC: Sistema plantio convencional; Coquetel 1 (C1): 100% da quantidade de sementes recomendada para cada espécie que compõe o coquetel (*Crotalaria juncea*) (20 kg ha⁻¹), Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformis*) (150 kg ha⁻¹) e Milheto (*Pennisetum glaucum*) (60 kg ha⁻¹); Coquetel 2 (C2): 50 % da quantidade de sementes recomendada para cada espécie que compõe o coquetel (*Crotalaria juncea*) (10 kg ha⁻¹), Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformis*) (75 kg ha⁻¹) e Milheto (*Pennisetum glaucum*) (30 kg ha⁻¹); Plantas espontâneas (P.E); COT: Carbono Orgânico Total.

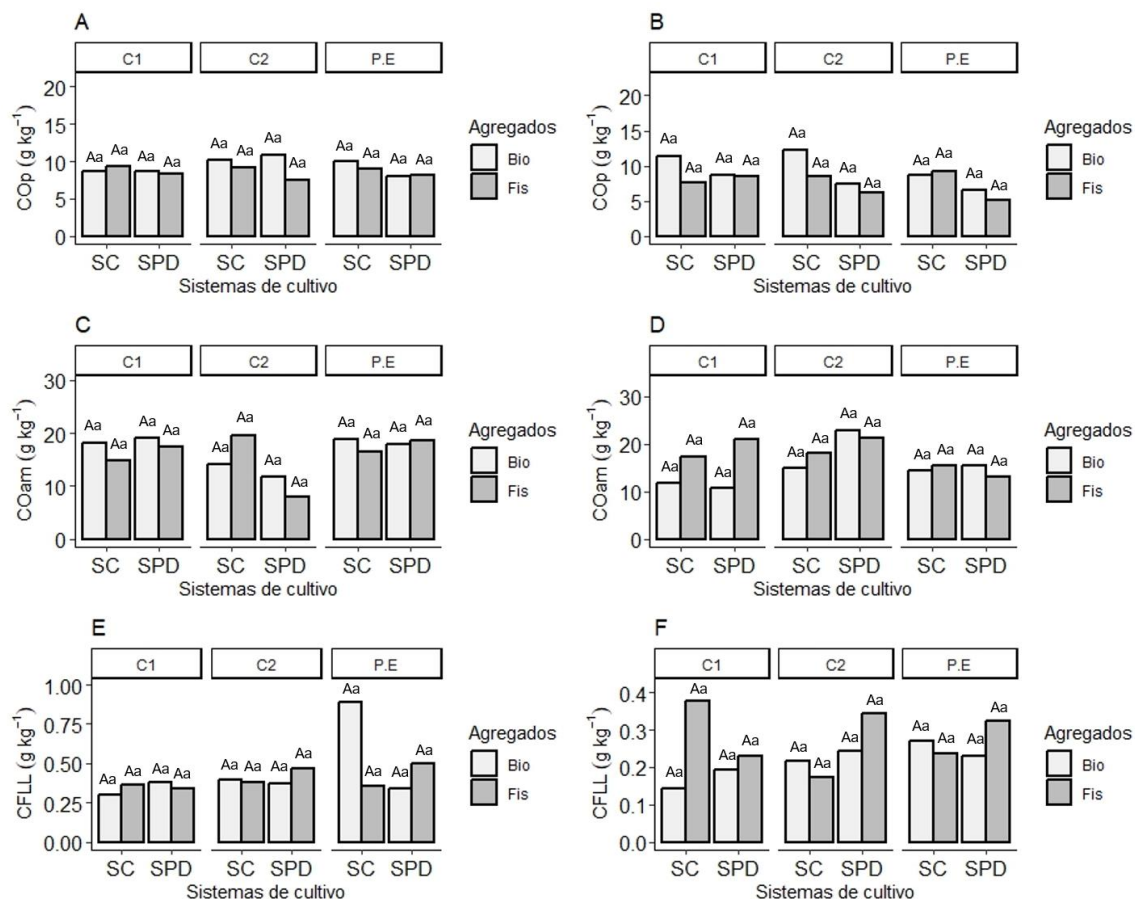


Figura 11. Frações de matéria orgânica do solo de agregados biogênicos (Bio) e fisiogênicos (Fis) de áreas sob diferentes sistemas de cultivo em solos de textura leve, sudeste do Brasil. (A, C, e E) 0–5 cm, e (B, D, e F) 5–10 cm de profundidade. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para formações de veredas e minúsculas para sistemas de cultivo, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. SPD: Sistema plantio direto; SC: Sistema plantio convencional; Coquetel 1 (C1): 100% da quantidade de sementes recomendada para cada espécie que compõe o coquetel (*Crotalaria juncea*) (20 kg ha⁻¹), Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformis*) (150 kg ha⁻¹) e Milheto (*Pennisetum glaucum*) (60 kg ha⁻¹); Coquetel 2 (C2): 50 % da quantidade de sementes recomendada para cada espécie que compõe o coquetel (*Crotalaria juncea*) (10 kg ha⁻¹), Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformis*) (75 kg ha⁻¹) e Milheto (*Pennisetum glaucum*) (30 kg ha⁻¹); Plantas espontâneas (P.E); COp: Carbono Orgânico Particulado; COam: Carbono Orgânico Associado a Minerais; e CFLL: Carbono orgânico da fração leve livre.

4.4.4. Análise de componentes principais (ACP)

Foi realizada uma ACP com os atributos proporção de agregados, teor de COT, COp, COam, CFLL e atributos químicos (pH, valor T e V%) nos agregados nas camadas de 0-5 cm (Figura 12) e 5-10 cm (Figura 13) sob diferentes sistemas de manejo (SC e SPD). Para as duas PCAs realizadas, os componentes principais (PCs) juntos explicaram aproximadamente 77 e 67% da variância dos parâmetros analisados no solo nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente. Em ambas as profundidades (Figuras 12 e 13), observa-se uma separação entre os sistemas de manejo SC e SPD, pelo eixo Y.

As variáveis que mais contribuíram para a formação da PC1 (correlação positiva superior nesse eixo $> 0,3$), na profundidade de 0-5 cm (Figura 12), foram V_F, pH_B, V_B e pH_F, sendo essas variáveis mais associadas à cobertura SC e P.E, por sua localização no mesmo quadrante na PCA. Observa-se que a maioria das variáveis está mais correlacionada à SC, sendo os seguintes atributos associados à SPD: COp (B), valor de T (F e B) e CFLL (F), sendo todos esses atributos mais relacionados à cobertura de C2, o que pode ser verificado pelo posicionamento no mesmo quadrante na PCA.

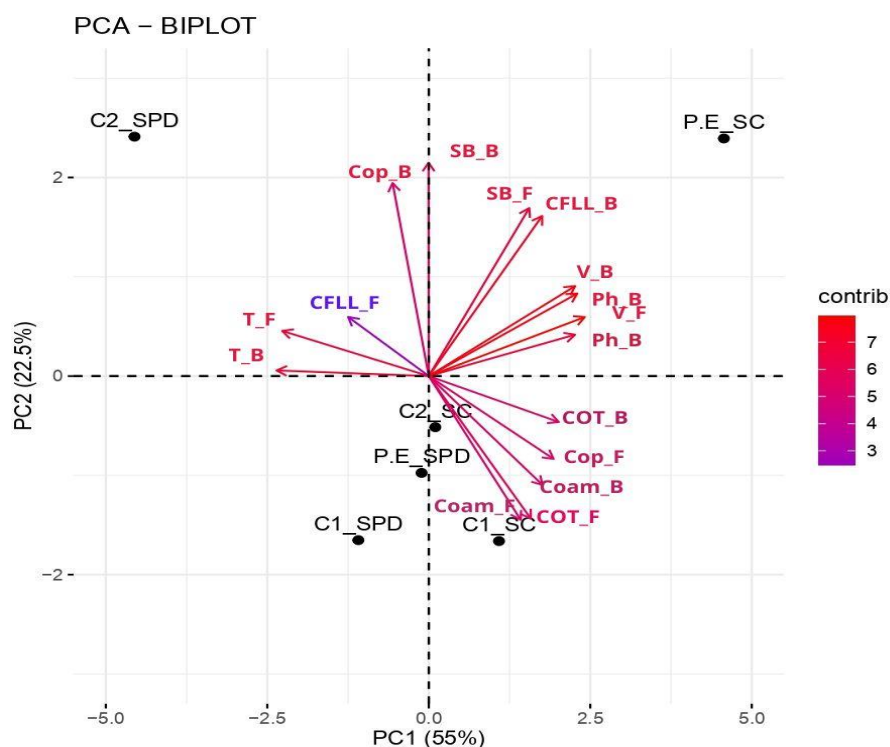


Figura 12. Análise de componentes principais das características químicas do solo e físicas de agregados biogênicos (B) e fisiogênicos (F), nos diferentes sistemas de cultivo do solo (SPD e SC), na camada de 0-5 cm. Carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COp), carbono orgânico mineral (COam), carbono orgânico da fração leve livre (CFLL), soma de bases (SB), valor T (T), saturação por bases (V%).

Para a profundidade de 5-10 cm (Figura 13), as variáveis que mais contribuíram para a formação da PC1 (correlação positiva superior nesse eixo $> 0,3$) foram V_F, V_B, pH_B, pH_F, SB_F e SB_B, sendo essas variáveis associadas à SC e, principalmente, à cobertura P.E, o que pode ser verificado por sua localização no mesmo quadrante na PCA. Nessa profundidade, observa-se um maior número de atributos correlacionados ao sistema SPD, quando comparado à profundidade de 0-5 cm, sendo parte desses atributos associados às coberturas C1 e P.E.

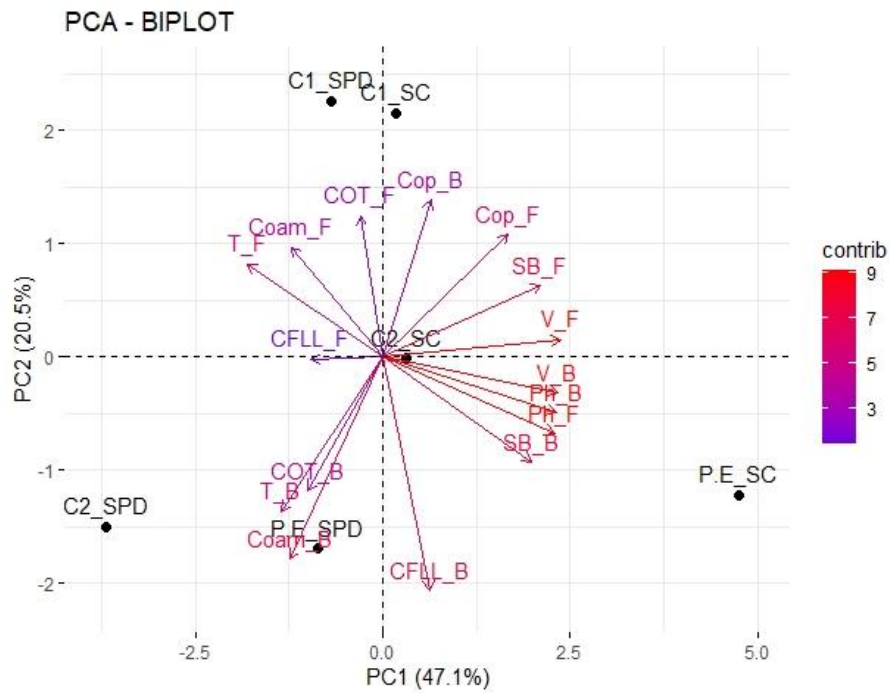


Figura 13. Análise de componentes principais das características químicas do solo e físicas de agregados biogênicos (B) e fisiogênicos (F), nos diferentes sistemas de cultivo do solo (SPD e SC), na camada de 5-10 cm. Carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COp), carbono orgânico mineral (COam), carbono orgânico da fração leve livre (CFL), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio trocável (Na), potássio trocável (K), fósforo disponível (P), soma de bases (SB), valor T (T), saturação por bases (V%).

4.5. DISCUSSÃO

4.5.1. Vias de formação

Os sistemas de cultivo não influenciaram significativamente a formação de agregados, e não foi observada diferença significativa entre as diferentes coberturas vegetais na proporção relativa dos diferentes tipos de agregados (Figura 9).

Os resultados observados neste estudo diferem dos obtidos por Mergen Júnior et al. (2015), em estudo realizado em Braço do Norte - SC, com cultivo em sucessão de aveia e milho sob TN, no qual os autores observaram maior proporção de agregados biogênicos em relação aos fisiogênicos. Nesse estudo, houve uma diferença na proporção de agregados entre as profundidades. Na profundidade de 0 a 5 cm, foi observada uma porcentagem maior de agregados biogênicos, enquanto, na profundidade de 5 a 10 cm, não foram observadas diferenças entre as vias de formação.

Em sistemas conservacionistas, espera-se uma maior estabilização do carbono e, conseqüentemente, uma maior formação e manutenção de agregados biogênicos (Brussaard et al., 2007). Esse padrão não foi observado neste estudo, uma vez que os sistemas de preparo do solo (SPD e SC) não diferiram na proporção relativa de agregados. Uma possível explicação para esse padrão pode ser atribuída à textura leve da camada superficial e ao curto período de implementação do SPD. De acordo com Inagaki et al. (2016), é na fase de transição (6 a 10 anos após a implantação do sistema) que se inicia o acúmulo de palha e matéria orgânica do solo (MOS).

Em um estudo realizado em sistemas agroecológicos, Rossi et al. (2016) constataram que os sistemas de manejo não proporcionaram efeitos significativos sobre as proporções relativas de diferentes tipos de agregados. Enquanto Loss et al. (2017), em Braço do Norte - SC, avaliando a influência da aplicação de dejetos suínos na formação de agregados, verificaram que, independentemente do tipo de manejo adotado, os agregados fisiogênicos sempre ocorrem em maiores proporções em relação aos biogênicos, e esse padrão foi observado no estudo até 0,10 m de profundidade.

Os resultados obtidos em relação ao tipo de cobertura vegetal estão de acordo com os observados por Silva Neto et al. (2012), em um estudo realizado na sub-bacia do córrego Cachimbal, no qual os autores não encontraram diferenças na composição relativa de agregados biogênicos e fisiogênicos entre áreas com diferentes tipos de cobertura vegetal.

No Cerrado de Minas Gerais, Pinto et al. (2021), avaliando a origem dos agregados formados sob diferentes sistemas de manejo, verificaram que os sistemas conservacionistas favoreceram a via de formação biogênica, reduzindo a proporção relativa entre agregados fisiogênicos e biogênicos, e possibilitando quantidades de agregados biogênicos semelhantes às encontradas em ambientes mais estáveis e equilibrados (vegetação de Cerrado).

4.5.2. Atributos químicos nos agregados

A fertilidade dos solos da área de estudo pode ser considerada baixa, o que pode ser constatado pela análise de nutrientes. Os resultados obtidos estão de acordo com os observados por Santos et al. (2017), em estudo realizado na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, no Campus de Chapadão do Sul - MS, com diferentes sistemas de cultivo, SC, SPD e cultivo de eucalipto, em que os atributos químicos foram maiores nas áreas de SC em relação às áreas de SPD, devido à incorporação de palhada no solo.

Entretanto, segundo estudo de Gregório & Silva (2022), na estação experimental da Epagri em Itajaí, com cultivo orgânico sob diferentes manejos (SC e SPD), o SPD proporcionou

melhorias nos atributos químicos do solo, enquanto o SC com adubação mineral causou acidificação do solo, resultados que são função das práticas agrícolas adotadas.

É notório que os sistemas conservacionistas diminuem as perdas de nutrientes, pois o uso de culturas de cobertura promove o acúmulo e a manutenção destes, contribuindo para sua permanência no sistema solo-planta (Loss et al., 2017).

Apesar de os resultados mostrarem que as diferentes coberturas vegetais não afetam diretamente as variações significativas nos atributos, segundo Costa et al. (2019), em estudo realizado no IF Baiano, Campus Teixeira de Freitas, em diferentes sistemas, foi identificado que a cobertura vegetal e o manejo influenciam a qualidade química dos solos.

4.5.3. Carbono orgânico no solo

A ausência de diferença observada para os valores de COT pode estar associada, nesses ambientes, ao uso de culturas de cobertura, que promovem melhorias nos atributos do solo, mesmo com o uso de práticas mecânicas. Rossi et al. (2016) observaram resultados semelhantes, de ausência de diferença nos valores de COT em diferentes ambientes, em função do uso de culturas de cobertura, que promovem o acúmulo e a manutenção do COT no solo, caracterizando o uso dessas coberturas como práticas de manejo conservacionistas.

Em contrapartida, alguns estudos com vias de formação de agregados descrevem teores de COT em maiores proporções nos agregados biogênicos quando comparados aos agregados fisiogênicos (Silva Neto et al., 2010; Loss et al., 2014). O tempo de adoção do SPD pode estar influenciando a ausência de diferenças entre as áreas e os sistemas de manejo. Na área de estudo, o tempo de instalação dos sistemas é de aproximadamente 4 anos, o que está dentro da fase de adoção, uma vez que mudanças significativas tendem a ocorrer lentamente, mas a fase de consolidação está entre 10 e 15 anos (Anghinoni, 2007).

Os maiores teores da fração CO_{am} em comparação com a CO_p podem ser explicados pela maior proteção da matéria orgânica, proporcionada pelas partículas de argila e silte, que tornam a MO menos suscetível à mineralização. Um padrão semelhante ao observado neste estudo foi verificado por diferentes autores (Silva Neto et al., 2010; Batista et al., 2013; Loss et al., 2014) em estudos com agregados de diferentes vias de formação, em áreas com diferentes sistemas de manejo ou cobertura vegetal.

Para o COT, valores mais baixos foram quantificados na profundidade de 0-5 cm em comparação com a profundidade de 5-10 cm (Figura 10 - A e B). Esse padrão pode estar associado à rápida mineralização nas camadas superiores devido à textura mais arenosa (Costa et al., 2022). Na profundidade de 5-10 cm, observamos valores mais altos de COT devido à menor velocidade de decomposição, que ocorre nessa profundidade devido à diminuição da atividade biológica.

Em relação à área de cobertura C2, observou-se um aumento percentual do COT, que não foi confirmado estatisticamente, e está associado ao uso de 50% do número recomendado de sementes para cada espécie do coquetel (Figura 10), pois o efeito da competição das plantas por recursos é menor quando comparado à área C1 e às plantas espontâneas, proporcionando melhor aproveitamento dos recursos.

4.5.4. Análise de componentes principais (ACP)

Através da análise de PCA verifica-se que os valores de pH e V% estão associados ao sistema SC, com cobertura com plantas espontâneas, em ambas as profundidades (Figura 12 e 13). Esse padrão pode estar associado ao emprego da cobertura vegetal, a qual pode interferir na qualidade do solo e na ciclagem de nutrientes (Fávero et al., 2000). Esse resultado é

concordante com os observados por Espanhol (2007), em um estudo desenvolvido em São Joaquim – SC, numa área de cultivo de macieira, com diferentes manejos de plantas espontâneas. O autor verificou maiores valores de nutrientes, carbono orgânico, e pH em água, paralelo a redução na saturação por alumínio em áreas com manejo convencional de preparo do solo, com o revolvimento e incorporação de plantas espontâneas.

Por meio da análise de PCA verifica-se que o valor T está correlacionado ao SPD, em ambas as profundidades, Lima et al. (2017) com o cultivo de hortaliças sob as coberturas milho solteiro e milho consorciado com a mucuna-preta, na profundidade de 0-5 cm observaram maiores correlação entre P, Ca^{2+} e valor T e o SPD.

Quanto às frações de carbono (COT, COp, COam e CFLL), foi observado um padrão distinto entre as profundidades, sendo que na camada superficial 0-5 cm (Figura 12), essas frações estão associadas ao SC com a cobertura C1. Enquanto na profundidade de 5-10 cm (Figura 13), algumas frações se encontram associadas ao SPD (COT, COam e CFLL). O padrão observado para a profundidade de 0-5 cm, difere do verificado por Loss et al (2011), em um estudo realizado em uma área de produção agroecológica, em Seropédica – RJ, com diferentes sistemas de preparo e cultivo. Os autores verificaram que os maiores teores das frações de carbono, foram quantificados nos sistemas mais conservacionistas, como o plantio direto, em ambas as profundidades.

Pode se observar que na profundidade de 5-10 cm, a correlação entre COp e a cobertura C1, demonstram que esta cobertura vegetal está atuando na formação de agregados, nesta profundidade, e consequentemente essa fração torna-se mais protegida no interior do agregado. Esse padrão é confirmando nos estudos de Loss et al. (2011), no qual os autores observaram os maiores valores de COp associados aos sistemas que utilizavam a adubação verde.

4.6. CONCLUSÕES

A porcentagem de agregados biogênicos foi maior na camada de 0-5 cm, em todas as áreas, independentemente do sistema de manejo e da cobertura vegetal avaliada. Os atributos químicos quantificados nas diferentes condições não diferiram significativamente entre as vias de formação biogênica e fisiogênica.

A avaliação do carbono orgânico total nos agregados não identificou diferenças entre as áreas de SPD e SC e as vias de formação biogênica e fisiogênica.

Os diferentes sistemas de manejo da SPD e da SC impactaram positivamente tanto os atributos químicos quanto os níveis das frações de carbono nos agregados, com os maiores valores observados na SC.

De maneira geral as coberturas C2 e P.E proporcionaram as maiores melhorias nos atributos químicos e no conteúdo de carbono, mas não nas vias de formação.

4.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGHINONI, I. **Fertilidade do solo e seu manejo no sistema plantio direto. In Fertilidade do solo.** ed R. F. Novais (Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo), 873–928, 2007.
- ALTIERI, M.A. Convergence or divide in the movement for sustainable and just agriculture. In: **Organic fertilisation, soil quality and human health.** Dordrecht: Springer Netherlands, (pp. 1-9), 2012.
- ARRAIS, S. C. S.; PRAT, B. V.; CAMBRAIA, R. P. Análise dos censos agropecuários brasileiros dos anos de 2006 e 2017 para identificação de características da população agrícola. **Cerrados**, 17(2), 228-246, 2019.
- AUGUSTO, M. V. S.; DEMETRIO, G. B.; LAJUS, C. R.; AZEVEDO-RIBEIRO, P. F. DE.; DUARTE, E. DOS R.; SAUER, A. V. Preservação de recursos naturais através de práticas de manejo e seus impactos na qualidade física do solo. **Uniciências**, [S. l.], v. 26, n. 2, p. 108–119, 2023.
- AZIZ, I.; MAHMOOD, T.; ISLAM, K.R. Effect of long term no-till and conventional tillage practices on soil quality. **Soil and Tillage Research**. 131, 28-35, 2013.
- BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil and Tillage Research**, [S. l.], v.53, p.215- 230, 2000.
- BALOTA, E.L. Manejo e qualidade biológica do solo. 1. ed. **Londrina: Mecenasa**. 288p, 2017.
- BATISTA, I.; CORREIA, M.E.F, PEREIRA, M.G.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J.A.; MELLO, N A. Aggregates characterization of soils under cultivation in cerrado, MS. **Semina: Ciências Agrárias**, 34,1535-1548, 2013.
- BELL, L.W.; MOORE, A.D. Integrated crop–livestock systems in Australian agriculture: Trends, drivers and implications. **Agricultural Systems**, 111,1-12, 2012.
- BELLOCHIO, S.D.C.; DOS SANTOS ALONÇO, A.; DE VARGAS, F.; DE OLIVEIRA, M.B. Frota atual de tratores por tempo de uso no Brasil. **Scientia Agraria**, 18(3), 154-159, 2017.
- BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25, 167-177, 2001.
- BLANKINSHIP, J.C.; FONTE, S.J.; SIX, J.; SCHIMEL, J.P. Plant versus microbial controls on soil aggregate stability in a seasonally dry ecosystem. **Geoderma**, 272, 39-50, 2016.
- BOER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; FILHO, A.C.; PIRES, F. R. Ciclagem de nutrientes por plantas na entressafra em um solo de cerrado. **Revista agropecuária brasileira**, v. 42, n. 9, p.1269-1276, 2007.

- BOCHNER, J.K.; FERNANDES, M.M.; PEREIRA, M.G.; DE CARVALHO BALIEIRO, F.; DA SILVA SANTANA, I.K. Matéria orgânica e agregação de um planossolo sob diferentes coberturas florestais. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 46-53, 2008.
- BRONICK, C.J; LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, 124:3-22, 2005.
- BRUSSAARD, L.; PULLEMAN, M. M.; OUÉDRAOGO, É.; MANDO, A.; SIX, J. Soil fauna and soil function in the fabric of the food web. **Pedobiologia**, 50(6), 447-462, 2007.
- BULLOCK, P.; FEDEROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T. Handbook for soil thin section description. Albrighton, England: **Waine Research**, 1985.
- CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. **Geoderma**. 56:449-457, 1992.
- CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E. SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:935-944, 2003.
- CARDOSO, F. P. Plantio direto: ano 2000. **Revista Agrícola**, 78(1), 165-168, 2003.
- CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A.; PAULUS, G. (Orgs.) Agroecologia: uma ciência do campo da complexidade. 1. ed. Brasília: MDA/SAF, v. 1, 2009.
- CARVALHO, C.L.; CAMARGO, N.D.O.T.; ROMEIRO, C. Produtos orgânicos de origem animal: revisão. MEDEIROS, J.A.; NIRO, C.M.; MEDEIROS, J.M.P. **Produção Animal e Vegetal: Inovações e Atualidades**. Cap. 140, p. 1246-1255, 2021.
- CASSOL, E.A.; DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A. Sistema plantio direto: evolução e implicações sobre a conservação do solo e da água. **Embrapa Trigo**, 2007.
- CASTILHOS, C.C.; DA JORNADA, M.I.H.; STERNBERG, S.S.W.; GUILARDI, R.C. A indústria de máquinas e implementos agrícolas no RS: notas sobre a configuração recente. **Ensaio FEE**, 29(2), 467-502, 2008.
- CHENU, C. ROBERSON, E.B. Diffusion of glucose in microbial extracellular polysaccharide as affected by water potential. **Soil Biology and Biochemistry**, 28:877-884, 1996.
- COSENTINO, D.; CHENU, C.; LE BISSONNAIS, Y. Aggregate stability and microbial community dynamics under drying–wetting cycles in a silt loam soil. **Soil Biology and Biochemistry**, 38(8), 2053-2062, 2006.
- COSTA, A.A.; DE CARVALHO, G.P.; DA SILVA LOPES, P. Cultivo do feijão carioca em sucessão a plantas de cobertura submetido a doses de nitrogênio em solos arenosos no Cerrado. **Brazilian Journal of Development**, 8(7), 49181-49195, 2022.

COSTA, H.S.; SANTOS, T.S.; CÂNDIDO, J.S.; JESUS, L.M.; SOUZA, T.A.A.; MARTINS, J.C. Indicadores químicos de qualidade de solos em diferentes coberturas vegetais e sistemas de manejo. **Revista Fitos**, 13, 42-48, 2019.

CORSINI, D.C.; CASSIOLATO, A.M.R. Microbiologia do solo e fixação simbiótica do nitrogênio. In: ARF, O.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P.; FERRARI, S. (Ed.). **Aspectos gerais da cultura do feijão: Phaseolus vulgaris L.** Botucatu: UNESP, p. 111-116, 2015.

DAROLT, M.R. As Dimensões da Sustentabilidade: Um estudo da agricultura orgânica na região metropolitana de Curitiba-PR. Curitiba. [Tese] Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Paraná/ParisVII. 310 p, 2000.

DE GRYZE, S.; SIX, J.; BRITS, C.; MERCKX, R. A quantification of short-term macroaggregate dynamics: influences of wheat residue input and texture. **Soil Biology and Biochemistry**, 37(1), 55-66, 2005.

DE OLIVEIRA, G.M.T.S.; DE OLIVEIRA, E.S.; DE SANTANA, A.C.; SANTOS, D.N. O passivo ambiental da perda de nutrientes causado por erosão de solos nos usos múltiplos de uma propriedade rural na Amazônia Oriental. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, 16(7), 7812-7837, 2023.

DEGENS, B.P. Macro-aggregation of soils by biological bonding and binding mechanisms and the factors affecting these: a review. **Australian Journal Soil Research**, v.35, p.431-459, 1997.

DENEF, K.; SIX, J.; BOSSUYT, H.; FREY, S.D.; ELLIOTT, E.T.; MERCKX, R.; PAUSTIAN, K. Influence of dry-wet cycles on the interrelationship between aggregate, particulate organic matter, and microbial community dynamics. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, v. 33, p. 1599-1611. 2001.

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; FAGANELLO, A.; DENARDIN, N.D.; WIETHÖLTER, S. Diretrizes do sistema plantio direto no contexto da agricultura conservacionista. **Passo Fundo: Embrapa Trigo**, 15, 15, 2012.

DEWI, R.K.; FUKUDA, M.; TAKASHIMA, N.; YAGIOKA, A.; KOMATSUZAKI, M. Soil carbon sequestration and soil quality change between no-tillage and conventional tillage soil management after 3 and 11 years of organic farming. **Soil Science and Plant Nutrition**, 68(1), 133-148, 2022.

DONAGEMMA, G.K.; FREITAS, P.L.D, BALIEIRO, F.D.C.; FONTANA, A.; SPERA, S.T.; LUMBRERAS, J.F.; VIANA, J.H.M.; ARAÚJO FILHO, J.C.; SANTOS, F.C.; ALBUQUERQUE, M.R.; MACEDO, M.C.M.; TEIXEIRA, P.C.; AMARAL, A.J.; BORTOLON, E.; BORTOLON, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 51, 1003-1020, 2016.

ESPANHOL, G.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; MAFRA, Á.L.; NUERNBERG, N.J.; NAVA, G. Propriedades químicas e físicas do solo modificadas pelo manejo de plantas espontâneas e adubação orgânica em pomar de macieira. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, 6(2), 83-94, 2007.

FACTOR, T.L.; LIMA JR., S.; PURQUERIO, L.F.V.; BREDÁ JR., J.M.; CALORI, A.H. Produção de beterraba em plantio direto sob diferentes palhadas. **Horticultura Brasileira**. 28: 1861-1866, 2010.

FALCÃO, K.S.; DAS NEVES MONTEIRO, F.; OZÓRIO, J.M.B.; DA SILVA SOUZA, C.B.; DA SILVA FARIAS, P.G.; DA SILVA MENEZES, R.; PANACHUKI, E.; ROSSET, J.S. Estoque de carbono e agregação do solo sob diferentes sistemas de uso no Cerrado. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, 55(2), 242-255, 2020.

FAO, 2008. Investing in Sustainable Agricultural Intensification: The Role of Conservation Agriculture. A Framework for Action. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

FAO-ITPS (2020). Protocol for the assessment of sustainable soil management. Rome, FAO. FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; COSTA, L.D.; ALVARENGA, R.C.; NEVES, J.C.L. Crescimento e acúmulo de nutrientes por plantas espontâneas e por leguminosas utilizadas para adubação verde. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 24, 171-177, 2000.

FAYAD, J.A.; COMIN, J.J.; KURTZ, C.; MAFRA, A. Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH): O cultivo da cebola. 146 ed., Florianópolis: **EPAGRI Boletim Didático**, 2018.

FERNANDES, J.C.F.; PEREIRA, M.G.; SILVA NETO, E.C.; CORREA NETO, T.A. Caracterização de agregados biogênicos, intermediários e fisiogênicos em áreas sob domínio da Mata Atlântica. **Revista Caatinga**, v.30, n.1, p.59-67, 2017.

FINATO, J.; ALTMAYER, T.; MARTINI, M.C.; RODRIGUES, M.; BASSO, V.; HOEHNE, L. A importância da utilização da adubação orgânica na agricultura. **Revista Destaques Acadêmicos**, Lajeado, v.5, n.4, p.85-93, 2013.

FLEMMING, H.C.; WINGENDER, J. The biofilm matrix. **Nature Reviews Microbiology**, 8: 623-633, 2010.

FRANCHINI, J.C., DEBIASI, H., JUNIOR, A.A.B., TONON, B.C., FARIAS, J.R.B., DE OLIVEIRA, M.C.N., TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crops Research**, 137, 178-185, 2012.

FRANÇOIS, N.R.; BATISTA, K.D.; SILVA, Y.P. **Densidade do solo sob diferentes sistemas de plantio no cerrado de Roraima**. 2020.

GHANI, A., DEXTER, M. PERROTT, K.W. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. **Soil Biology and Biochemistry**, vol. 35, n. 9, p. 1231-1243, 2003.

GREGÓRIO, D.; SILVA, A.C. Sistema de plantio direto e adubação orgânica melhoram a fertilidade do solo e a produtividade de repolho ao longo do tempo [Dissertação]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2022.

HALLETT, P.D.; GORDON, D.C.; BENGOUGH, A.G. Plant influence on rhizosphere hydraulic properties: direct measurements using a miniaturized infiltrometer. **New Phytologist**, 157(3), 597-603, 2003.

HAYNES, R.J.; FRANCIS, G.S. Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. **Journal of Soil Science**, v. 44, n. 4, p. 665-675, 1993.

HOLDEN, R.J. Lean thinking in emergency departments: A critical review. **Annals of Emergency Medicine**, 57(3), 265-278, 2011.

HUANG, J.; HARTEMINK, A.E. Soil and environmental issues in sandy soils. **Earth-Science Reviews**, 208, 103295, 2020.

INAGAKI, T.M.; DE MORAES SÁ, J.C.; DE OLIVEIRA FERREIRA, A.; BRIEDIS, C.; TIVET, F.; ROMANIW, J. Macroagregados como indicadores de qualidade em sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Edição. 151, 5, 2016.

JUNIOR, C.A.M.; LOSS, A.; DOS SANTOS JUNIOR, E.; FERREIRA, G.W.; COMIN, J.J.; LOVATO, P.E.; BRUNETTO, G. Atributos químicos em agregados biogênicos e fisiogênicos de solo submetido à aplicação com dejetos suínos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 14(1), 1-8, 2019.

KAPPES, C.; ZANCANARO L. Sistemas de consórcios de braquiária e de crotalárias com a cultura do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.14, n.2, p. 219-234, 2015.

LAPICCIRELLA, J.N.; JÚNIOR, D.C.F.C.; ROCHA, C.H.; ARAUJO, Í.S.A.; DE OLIVEIRA MATOSO, A. O uso de Biofertilizantes na Agricultura Orgânica. **Cadernos de Agroecologia**, 17(2), 2022.

LEPSCH, I.F. Formação e conservação dos solos. **Oficina de textos**, 2016.

LIMA, S.S.D.; PEREIRA, M.G.; SILVA NETO, E.C.D.; FERNANDES, D.A.C.; AQUINO, A. Biogenic and physicogenic aggregates under different crops with black oat in Nova Friburgo, Brazil. **Revista Caatinga**, 33, 299-309, 2020.

LIMA, A.P.; MÜLLER JÚNIOR, V.; ZANELLA, M.; FAYAD, J.A.; LOVATO, P.E.; COMIN, J.J. O Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH) como ferramenta de transição agroecológica. **Cadernos de Agroecologia**, 13(1), 2018.

LIMA, C.E.P.; MADEIRA, N.R. Sistema de plantio direto em hortaliças (SPDH). **Infoteca-e Embrapa**, 1(9), 2013.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G, COSTA, E.M, BEUTLER, S.J. Frações granulométricas e oxidáveis de matéria orgânica sob diferentes sistemas de uso do solo, no Paraná, Brasil. **Bioscience Journal**, 30, 43-54, 2014.

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**. 30(5), 1347-1357, 2014.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; DOS ANJOS, L.H.C, RIBEIRO DA SILVA, E.M. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. **Idesia (arica)**, 29(2), 11-19, 2011.

LOSS, A.; LOURENZI, C.R.; DOS SANTOS JUNIOR, E.; MERGEN JUNIOR, C.A.; BENEDET, L.; PEREIRA, M. G.; PICCOLO, M.C.; BRUNETTO, G.; LOVATO, P.E.; COMIN, J.J. Carbon, nitrogen and natural abundance of ^{13}C and ^{15}N in biogenic and physicogenic aggregates in a soil with 10 years of pig manure application. **Soil and Tillage Research**;166, 52-58, 2017.

MERGEN JÚNIOR, C.A.; LOSS, A. Carbono, nitrogênio e fertilidade em agregados biogênicos e fisiogênicos em solo com longo histórico de aplicação com dejetos suínos [TCC]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

MERGEN JÚNIOR, C.A., Loss, A., dos Santos Junior, E., Ferreira, G.W., Comin, J.J., Lovato, P.E., Brunetto, G. Atributos químicos em agregados biogênicos e fisiogênicos de solo submetido à aplicação com dejetos suínos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 14(1), 1-8, 2019.

MORENO-ESPÍNDOLA, I.P.; RIVERA-BECERRIL, F.; DE JESÚS FERRARA-GUERRERO, M.; DE LEÓN-GONZÁLEZ, F. Role of root-hairs and hyphae in adhesion of sand particles, en **Soil Biology and Biochemistry**. 39:2520-2526, 2007.

NESPOLI, A.; SEABRA, S.; DALLACORT, R.; PURQUERIO, L.F. Consórcio de alface e milho verde sobre cobertura viva e morta em plantio direto. **Horticultura Brasileira**, 35, 453-457, 2017.

OLIVEIRA SILVA, M.; VELOSO, C.L.; DO NASCIMENTO, D.L.; DE OLIVEIRA, J.; DE FREITAS PEREIRA, D.; DA SILVA COSTA, K.D. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**. 6(7), 47838-47855, 2020.

PACHECO, B.R.O.; MAKOSKI, J.R.; LIMA, C.S. M.; ROSA, G.G. Classificação comercial e caracterização físico-química de beterrabas oriundas de sistema de plantio direto de hortaliças sob diferentes densidades de palhada de milho. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, 22(2), 2021.

PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; BATISTA, I.; MELO, T.R.; SILVA NETO, E.C.; PINTO, L.A.S.R. Biogenic and physicogenic aggregates: formation pathways, assessment techniques, and influence on soil properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 45:e0210108, 2021.

PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; BEUTLER, S.J.; TORRES, J.L.R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária brasileira**. 45, 508-514, 2010.

PERUSI, M.C.; BARROS, C.E. Indicadores físicos de qualidade do solo em diferentes sistemas agroflorestais (SAFs) no sítio Mãe Terra, assentamento rural Horto Bela Vista, Iperó/SP. **Cadernos de Agroecologia**, 15(2), 2020.

PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.D.; MACHADO, P.D.A. Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2004;28, 731-737.

PIEROZAN, V.L. AGRICULTURA ORGÂNICA FAMILIAR NA SERRA GAÚCHA. **Revista GeoPantanal**, 16(30), 75-92, 2021.

PINTO, L.A.D.S.R.; TORRES JLR, MORAIS, I.D.S.; FERREIRA, R.; SILVA JÚNIOR, W.F.D.; LIMA, S.D.S.; BEUTLER, J.S.; PEREIRA, M.G. Physicogenic and biogenic aggregates under different management systems in the Cerrado region, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**; 45, 2021.

PINTO, L.A.S.R.; SILVA, C.F.; MELO, T.R.; ROSSET, J.S.; PEREIRA, M.G. Stability, labile organic carbon, and glomalin of biogenic aggregates in sandy soils under management systems in the subtropical region of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 46:e0220074, 2022.

PRIMAVESI, A. M. Manual do solo vivo: solo sadio, planta sadia, ser humano sadio. 2 ed. **Revista São Paulo: Expressão Popular**, 205 p, 2016.

PULLEMAN, M.M.; SIX, J.; UYL, A.; MARINISSEN, J.C.Y.; JONGMANS, A.G. Earthworms and management affect organic matter incorporation and microaggregate formation in agricultural soils. **Applied Soil Ecology**. 29(1), 1-15, 2005.

RANGEL, O.J.P.; GUIDINELLE, R.B.; BAPTESTINI, J.C.M.; PASSOS, R.R.; SOUZA, A.O.; SOUZA, M.N.; POLIDO, G.P. Uso agrícola da água residuária de suinocultura na irrigação da cultura do milho cultivado em sistema plantio direto. In: GONÇALVES, F.G.; CALDEIRA, M.V.W.; SILVA, G.F.; SOUZA, G.S. Sistemas integrados de produção: pesquisa e desenvolvimento de tecnologias, **Editora Científica Digital**, cap. 14, p. 279-303, 2021.

RAIHER, A.P.; OLIVEIRA, R.A.D.; CARMO, A.S.S.D.; STEGE, A.L. Convergência da Produtividade Agropecuária do Sul do Brasil: uma análise espacial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 54, p. 517-536, 2016.

REIS, D.A.; FAGUNDES, M.O.; FEITOSA JÚNIOR, F.R.; PORTELLA, R.B.; PERINA, F.J.; BOGIANI, J.C. Qualidade de um latossolo cultivado com algodão sob plantio convencional e sistema plantio direto no Cerrado brasileiro, In: REDIN, E. (Org.). **Ciências rurais em foco**. Belo Horizonte: Poisson, cap. 7, p. 56-66, 2022.

RIBEIRO, L.L.O.; CADENA, A.L.S.; WEBER, E.S.; SPOHR, E.; DE ALMEIDA, K.F. Considerações sobre os indicadores biológicos de qualidade do solo. **OPEN SCIENCE RESEARCH III**. Cap. 07, p. 86-91, 2022.

ROBERSON, E.B.; FIRESTONE, M.K.; SARIG, S. Cover crop management of polysaccharide-mediated aggregation in an orchard soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 55, n. 3, p. 734-739, 1991.

RODRIGUES, J.L.M.; PELLIZARI, V.H.; MUELLER, R.; BAEK, K.; JESUS, E.C.; PAULA, F.S.; MIRZA, B.; HAMAOUJI JR.; G.S.; TSAI, S.M.; FEIGL, B.; TIEDJE, J.M.; BOHANNAN, B.J.M.; NÜSSLEIN, K. Conversion of the Amazon rainforest to agriculture results in biotic homogenization of soil bacterial communities. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 110, p. 988-993, 2013.

ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.G.; MOURA, O.V.T.D.; ALMEIDA, A.P.C.D. Vias de formação, estabilidade e características químicas de agregados em solos sob sistemas de manejo agroecológico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2016;51, 1677-1685, 2016.

SALOMÃO, P.E.A.; KRIEBEL, W.; SANTOS, A.A.; MARTINS, A.C.E. The importance of straw no-tillage system for soil restructuring and organic matter restoration. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. e154911870, 2020.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 11-21, jan./fev. 2008.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa; 2018.

SANTOS, L.L.; PEREIRA, A.J.; MOREIRA, V.F. Avaliação de substratos alternativos obtidos da compostagem de crotalaria e milho para a produção de mudas de Alface e Rúcula. **Agri-Environmental Sciences**, 9(2), 7-7, 2023.

SANTOS, M.A.; CARNEIRO, D.O.; DA SILVA DANTAS, J.A.; MATIAS, M.I.D.A.S. Manejo e conservação do solo e água com prática vegetativa, 2021.

SANTOS, O.F.; SOUZA, H.M.; OLIVEIRA, M.P.; CALDAS, M.B.; ROQUE, C.G. Propriedades químicas de um Latossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista de Agricultura Neotropical**. 4(1), 36-42, 2017.

SCHIAVO, J.A.; ROSSET, J.S.; PEREIRA, M.G.; SALTON, J.C. Índice de manejo de carbono e atributos químicos de Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 46, 1332-1338, 2011.

SCHIMEL, J.P., SCHAEFFER, S.M. Microbial control over carbon cycling in soil. **Frontiers in Microbiology**, 3(SEP), 1 11, 2012.

SILVA, A.J.; MONTEIRO, M.D.S.L.; LIMA, E.B. Difusão do agronegócio do Brasil: estratégias governamentais. **Informe Econômico (UFPI)**, 34(1), 2015.

SILVA, P.L.F., OLIVEIRA, F.P., MARTINS, A.F.; PEREIRA, W.E.; SANTOS, T.E.D.; AMARAL, A.J. Caracterização físico-hídrica de solos arenosos através da curva de retenção de água, índice S e distribuição de poros por tamanho. **Agrarian**, 13(50), 478–492, 2020.

SILVA NETO, L.F.; SILVA, I.F.; INDA JUNIOR, A.V.; NASCIMENTO, P.C. Atributos físicos e químicos de agregados pedogênicos e de coprólitos de minhocas em diferentes classes de solos da Paraíba. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.6, p.1365-1371, 2010.

SILVA NETO, E.C.; PEREIRA, M.G.; FERNANDES, J.C.F. Gênese e estabilidade de agregados sob diferentes coberturas vegetais, Pinheiral-RJ. **Simpósio de Pesquisa em Mata Atlântica**. 2012;2, 72-74, 2012.

SIQUEIRA, M.F.B. Avaliação de projeto de agricultura familiar em faixa de dutos na Baixada Fluminense, RJ [**Dissertação**]. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2009.

SIX, J.; JASTROW, J.D. Soil organic matter turnover. In: LAL, R., ed. Encyclopedia of soil science. New York, Marcel Dekker. **Encyclopedia of soil science**, v. 10, p.936-942, 2002.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; GRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, 79:7-31, 2004.

SOUZA, R.F.; MADEIRA, N.R.; DE FIGUEIREDO, C.C. Perdas de solo, água e nutrientes em área cultivada com hortaliças sob sistema de plantio direto. **Científic@-Multidisciplinary Journal**, 1(1), 38-50, 2014.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. Manual de métodos de análise de solo. Brasília: Embrapa, 2017. 573p. **Revista Agropecuária Técnica**, Areia-PB. 39(1), 2018.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, 33:141-163, 1982.

VAN RIJSSEL, S.Q.; VEEN G.F.; KOORNEEF, G.J.; BAKX-SCHOTMAN, J.M.T.; TEN HOOVEN, F.C.; GEISEN, S.; VAN DER PUTTEN, W.H. Soil microbial diversity and community composition during conversion from conventional to organic agriculture. **Molecular Ecology**, 31(15), 4017-4030, 2022.

VANACKER, V.; AMEJEIRAS-MARIÑO, Y.; SCHOONEJANS, J.; CORNÉLIS, J.T.; MINELLA, J.P.; LAMOULINE, F.; VERMEIRE, M.L.; CAMPFORTS, B.; ROBINET, J.; BROEK, M.V.; DELMELLE, P.; OPFERGELT, S. Land use impacts on soil erosion and rejuvenation in Southern Brazil. **Catena**, 178, 256-266, 2019.

VARGAS, L.; ADEGAS, F.; GAZZIERO, D.; KARAM, D.; AGOSTINETTO, D.; DA SILVA, W.T. Resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil: histórico, distribuição, impacto econômico, manejo e prevenção. In: MESCHÉDE, D. K.; GAZZIERO, D. L. P. A era glyphosate: agricultura, meio ambiente e homem. Londrina: **Midiograf II**. Cap. 20, p. 219-239, 2016.

Whalley, W.R.; Riseley, B.; Leeds-Harrison, P.B.; Bird, N.R.; Leech, P.K.; Adderley, W.P. Structural differences between bulk and rhizosphere soil. **European Journal of Soil Science**. 56: 353-360, 2005.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 19(13), 1467-1476, 1988.

YORK L.M.; CARMINATI A.; MOONEY S.J.; RITZ K.; BENNETT M.J. The holistic rhizosphere: integrating zones, processes, and semantics in the soil influenced by roots. **Journal of Experimental Botany**. 67:3629-43, 2016.

YOST, J.L.; HARTEMINK, A.E. Soil organic carbon in sandy soils: A review. **Advances in agronomy**. 158, 217-310, 2019.

ZANCHETT FILHO, L.A. Carbono orgânico sob diferentes sistemas de manejo do solo e plantas de cobertura de inverno no Planalto Catarinense. [TCC] - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Curitibanos, 2019.

5. CAPÍTULO II

CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA E DIVERSIDADE BACTERIANA DE AGREGADOS BIOGÊNICOS E FISIOGÊNICOS DE SOLOS LEVES EM SISTEMA PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL

5.1. RESUMO

Os solos de textura arenosa ou leve são amplamente distribuídos no mundo e, apesar de seu menor potencial agrícola, têm sido inseridos na cadeia produtiva, tal como ocorre na Baixada Fluminense – RJ. As limitações ao cultivo devem-se em função da baixa capacidade de retenção de água, à rápida decomposição da matéria orgânica e a intensa perda de nutrientes por lixiviação, o que pode afetar a agregação e a comunidade dos organismos do solo. Estas limitações podem ser acentuadas pelo sistema de manejo convencional. Contudo, a adoção de práticas conservacionistas, como o sistema plantio direto (SPD), pode contribuir para a reversão desse cenário. O objetivo deste estudo foi avaliar os atributos químicos, incluindo os teores de carbono orgânico e suas frações, e a estrutura da comunidade bacteriana de agregados provenientes de diferentes vias de formação (fisiogênica e biogênica), de diferentes coberturas vegetais e de sistemas de manejo convencional e plantio direto, em solos de textura leve na camada arável. O estudo foi conduzido em uma unidade de produção orgânica, no município de Seropédica – Rio de Janeiro, Brasil. O delineamento foi um fatorial 2x3x2, com três repetições, no qual foram avaliados dois sistemas de manejo, SPD e sistema convencional (SC), três coberturas vegetais, a saber: CJ: Crotalária (*Crotalaria juncea* - 40 kg ha⁻¹), M: Milheto (*Pennisetum glaucum* - 60 kg ha⁻¹), e C: coquetel (Crotalária - *Crotalaria juncea* - 10 kg ha⁻¹, Feijão-de-Porco - *Canavalia ensiformis* - 75 kg ha⁻¹ e Milheto - *Pennisetum glaucum* - 30 kg ha⁻¹). Foram coletadas amostras indeformadas na linha de cultivo, a uma profundidade de 0-10 cm de solo, sendo parte deste material separado para a análise da comunidade bacteriana. Os agregados com diâmetro entre 9,7 e 8,0 mm foram classificados de acordo com a via de formação (biogênica ou fisiogênica). Nos agregados, foram quantificados os atributos químicos (pH, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, P, Na⁺, K⁺) e os teores de carbono orgânico total (COT e de suas frações de carbono (carbono orgânico associado a minerais - COam, carbono orgânico particulado - COp e carbono da fração leve livre - CFLL). Nos agregados (biogênicos e fisiogênicos) também foi realizado a caracterização da estrutura e composição bacteriana. Foi verificada uma maior proporção de agregados biogênicos em comparação aos fisiogênicos, não tendo sido observada diferença entre os sistemas de manejo e coberturas vegetais. Os níveis de nutrientes nos agregados foram maiores em SC (pH, Ca²⁺ e P), quando comparada ao SPD, e não houve diferença estatística entre as vias de formação de agregados e coberturas vegetais. Quanto as frações de carbono COp e COam estas diferiram estatisticamente quanto as coberturas vegetais, sendo que para a cobertura M foram observados os maiores valores de COp e menores de COam, quando comparada a C e CJ. A estrutura e a abundância da comunidade bacteriana foram influenciadas pelo sistema de manejo, sendo maiores no SPD. A nível de filo a abundância foi distinta entre os sistemas, em SC os mais abundantes foram Firmicutes e Entothaeonellaeota e em SPD os WPS_2, GAL15, Bdellovibrionota e Myxococcota. Apesar do curto tempo de instalação do SPD não ter promovido melhoria nos atributos químicos, teores de carbono e suas frações, foi observado efeito positivo na comunidade bacteriana, logo este atributo pode ser utilizado como indicador de qualidade do sistema.

Palavras-chave: Manejo do solo. Sistemas conservacionistas. Agregação do solo. Diversidade bacteriana.

5.2. ABSTRACT

Soils of sandy texture are widely spread in the world and, although with low potential, have been used for agriculture, such as in the *Baixada Fluminense* region, State of Rio de Janeiro. The limitations for cultivation are related to the low water retention capacity, rapid decomposition of organic matter, intense loss of nutrients through leaching, which can affect aggregation and the soil microbiota. These limitations are exacerbated by conventional management practices. However, the adoption of conservation practices, such as the no-till system (NT), may contribute to revert this situation. The aim of this study was to evaluate the chemical attributes, including the levels of organic carbon and its fractions, and the structure of the bacterial community of aggregates originating from different formation pathways (physiogenic and biogenic), from different vegetation covers and from conventional and no-till management systems, in light-textured soils in the arable layer. The study was conducted in a biological production unit farm in the municipality of Seropédica - Rio de Janeiro, Brazil. It was used a 2x3x2 factorial design, with three replications, in which two management systems were evaluated, NT and conventional system (CT), three plant covers, namely: CJ: Crotalaria (*Crotalaria juncea* - 40 kg ha⁻¹), M: Millet (*Pennisetum glaucum* - 60 kg ha⁻¹), and C: cocktail (Crotalaria - *Crotalaria juncea* - 10 kg ha⁻¹, Jack Bean - *Canavalia ensiformis* - 75 kg ha⁻¹ and Millet - *Pennisetum glaucum* - 30 kg ha⁻¹). Undeformed soil samples were collected from the crop row at a depth of 0-10 cm. Aggregates with a diameter between 9.7 and 8.0 mm were classified according to their formation pathway (biogenic or physiogenic). From these aggregates, the chemical attributes were quantified (pH, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, P, Na⁺, K⁺) as well as the carbon fractions (total organic carbon - TOC, mineral-associated organic carbon - MAOC, particulate organic carbon - POC, and free light fraction carbon - LFC). In the aggregates (biogenic and physiogenic), the bacterial structure and composition were also characterized. The proportion of biogenic aggregates was higher than that of physiogenic aggregates, with no influence from the different management systems and vegetation covers. Nutrient levels in aggregates were higher in the CT (pH, Ca²⁺ and P), when compared to the NT, and there was no statistical difference between the aggregate formation pathways and the different vegetation covers. The POC and MAOC fractions differed statistically between the different plant covers, with M being associated with higher POC values and lower MAOC values when compared to C and CJ. The structure and abundance of the bacterial community were influenced by the management system and were higher in the NT. At phylum level, the abundance was different between the systems: in CT the most abundant were Firmicutes and Entomothellaeota and in NT WPS_2, GAL15, Bdellovibrionota and Myxococcota. Although the short time the NT has been in place has not led to an improvement in chemical attributes, carbon content and its fractions, there has been a positive effect on the bacterial community, so this attribute can be used as an indicator of the quality of the system.

Keywords: Soil management. Conservation systems. Soil aggregation. Bacterial diversity.

5.3. INTRODUÇÃO

Os solos de textura arenosa (areia, areia franca e francoarenosa), também denominados de “textura leve” (Huang & Hartemink, 2020), possuem grande abrangência em todo o mundo, podendo ser encontrados em regiões de climas e biomas distintos. Segundo Huang & Hartemink (2020), no mundo cerca de 199.600.000 ha de solos de textura leve são destinados a agricultura. No Brasil, solos com esta textura na camada arável podem representar até 8% do território nacional (Donagemma et al., 2016).

No Estado do Rio de Janeiro, localizado na região sudeste do Brasil, grande parte dos solos da região identificada como Baixada Fluminense apresentam essa característica, sendo este um dos principais obstáculos para o aumento de sua produtividade. Estes solos apresentam uma grande vulnerabilidade aos processos de degradação, com destaque para erosão eólica. Adicionalmente a textura leve, conduz a rápida decomposição da matéria orgânica (MO), baixa capacidade de retenção, maior perda de nutrientes por lixiviação, o que pode favorecer a contaminação dos lençóis freáticos (Salviano et al., 2016).

Em função dos impactos negativos ao ambiente e menor sustentabilidade dos sistemas de cultivo convencionais, estes tem sido lentamente substituído por sistemas conservacionistas. Dentre os mais difundidos está o sistema plantio direto (SPD), que tem como princípios a mínima mobilização de solo, diversificação de espécies via rotação e cobertura vegetal permanente do solo. A adoção dos princípios do SPD promove melhorias, na agregação do solo, permeabilidade, manutenção da umidade do solo, aumento dos teores de MO, aumentando a capacidade de troca de cátions, diminuindo a perda de nutrientes por lixiviação, e a ação dos processos erosivos (hídrico e eólicos) (Ferreira et al., 2016; Nouri et al., 2019), resultando a longo prazo em aumento da capacidade produtiva do solo e manutenção de sua sustentabilidade (FAO, 2008). Estes benefícios são ainda mais expressivos em solo de textura arenosa, que são mais frágeis e possuem menor capacidade de retenção de água e nutrientes (Donagemma et al., 2016).

A melhoria da qualidade do solo pela adoção do SPD ocorre, principalmente, em função do aumento dos teores de carbono orgânico, que propicia o aumento de cargas na fração coloidal do solo (favorecendo a retenção de água e nutrientes), e também a matéria orgânica atuando como agente cimentante, promovendo a agregação e estabilização das unidades estruturais (Schiavo et al., 2011; Aziz et al., 2013; Loss et al., 2014a; Blanco-Canqui & Ruis, 2018).

Os agregados do solo protegem fisicamente o carbono da decomposição acentuada promovida pelo preparo do solo, favorecendo sua manutenção e/ou acúmulo (Six et al., 2004). Os agregados, além de proporcionarem melhoria nos atributos físicos e químicos do solo, podem atuar como reservatório de nutrientes e de matéria orgânica, dessa forma funcionam como indicadores da qualidade de áreas submetidas a diferentes formas de manejo.

Os agregados do solo têm várias origens, podendo ser classificados quanto a sua gênese em biogênicos ou fisiogênicos, de acordo com padrões morfológicos. Os agregados fisiogênicos são formados a partir de processos físicos e químicos do solo, já os biogênicos, pela ação de agentes bióticos, como exemplos desses organismos destacam-se as minhocas (*Oligochaeta*), a microbiota e a cobertura vegetal, pela interação do solo com as raízes (Bullock et al., 1985; Pulleman et al., 2005; Pereira et al., 2021).

Os microrganismos estão positivamente correlacionados a formação de agregados do solo, pois estes podem produzir substâncias poliméricas extracelulares, que atuam como agentes cimentantes, unindo os coloides e os tornando mais estáveis (Flemming & Wingender, 2010). Entretanto a diversidade e a riqueza da comunidade bacteriana nos agregados do solo são fortemente influenciadas pelas práticas de manejo, que podem provocar alterações nas

características físicas e químicas do solo, que por sua vez, influenciam na composição e na atividade da comunidade bacteriana nos agregados (Tyagi et al., 2019).

Este estudo teve por objetivo avaliar se agregados, de diferentes vias de formação (biogênicos e fisiogênicos), e a comunidade bacteriana nestes são influenciados por sistemas de manejo do solo (convencional e SPD) e pela cobertura vegetal, visando avaliar o seu uso como indicadores de qualidade do solo.

5.4. RESULTADOS

5.4.1. Via de formação

Foi observado percentual de agregados biogênicos significativamente maior quando comparado aos agregados fisiogênicos, na profundidade de 0-10 cm (Figura 14). O percentual médio de agregados biogênicos variou de 53 a 64%, enquanto os agregados fisiogênicos de 36 a 47% (Figura 14). Não houve diferença estatística na porcentagem de agregados biogênicos e fisiogênicos entre as coberturas vegetais (CJ, M e C) e entre os diferentes sistemas de manejo (SPD e SC) (Figura 14).

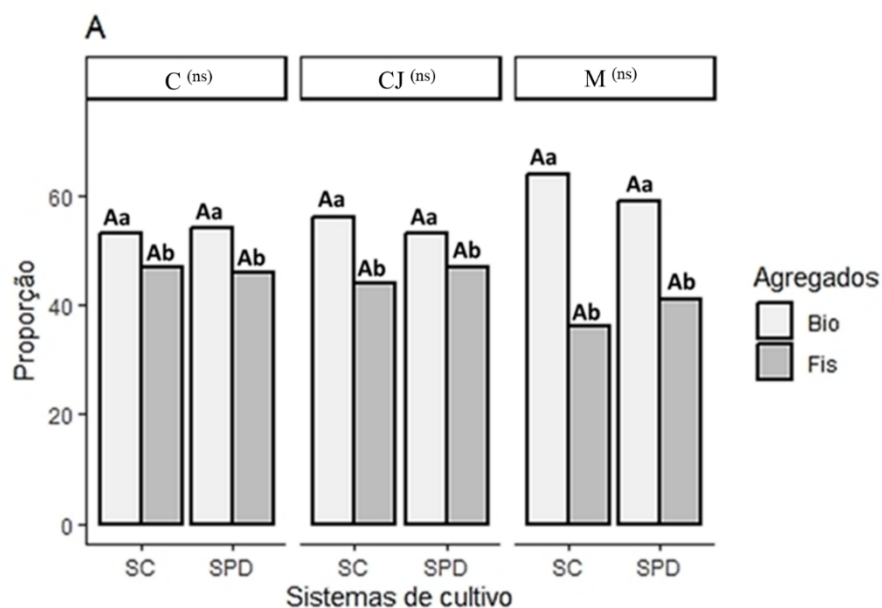


Figura 14. Percentagem de agregados biogênicos (Bio) e fisiogênicos (Fis) próximos ao sistema radicular da cultura (Quiabo), em áreas sob diferentes sistemas de cultivo, diferentes coberturas vegetais em solos de textura leve, no sudeste do Brasil. A medida corresponde a 100 g de agregados de solo de tamanho 9,7-8,0 mm antes da separação entre biogênico e fisiogênico. As médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para sistemas de cultivo e minúsculas para vias de formação, não diferem estatisticamente, nas coberturas vegetais, pelo símbolo (ns) (não significativo), teste de Tukey, com 5% de probabilidade. SPD: sistema plantio direto; SC: sistema convencional; CJ: Crotalária (*Crotalaria juncea* - 40 kg ha⁻¹); M: Milheto (*Pennisetum glaucum* - 60 kg ha⁻¹) e C: coquetel (Crotalária - *Crotalaria juncea* - 10 kg ha⁻¹, Feijão-de-Porco - *Canavalia ensiformis* - 75 kg ha⁻¹ e Milheto - *Pennisetum glaucum* - 30 kg ha⁻¹).

5.4.2. Atributos químicos dos agregados

Não foram observadas variações para os atributos químicos dos agregados (Tabela 2). Os níveis de nutrientes nos agregados variaram de médio a alto (Freire et al., 2013). Não foram observadas diferenças estatísticas para estes atributos em função da via de formação e cobertura vegetal utilizada (Tabela 2).

Tabela 2. Atributos químicos dos agregados nos diferentes sistemas ⁽¹⁾.

Sistema	Cob.	Via	pH	Ca	Mg	H+Al	SB	Valor T	P	V%
						cmolc kg ⁻¹			mg kg ⁻¹	
	CJ		6,30 Ba	2,93 Ba	2,60 Aa	3,30 Aa	6,36 Aa	9,66 Aa	14,43 Ba	66 Aa
SPD	M	Bio ^(ns)	6,45 Ba	2,63 Ba	2,70 Aa	3,33 Aa	6,09 Aa	9,42 Aa	11,33 Ba	64 Aa
	C		6,36 Ba	2,47 Ba	2,67 Aa	3,13 Aa	6,78 Aa	9,92 Aa	20,45 Ba	68 Aa
	CJ		6,64 Aa	3,33 Aa	2,37 Aa	3,20 Aa	6,96 Aa	10,16 Aa	58,60 Aa	67 Aa
SC	M	Bio ^(ns)	6,70 Aa	3,13 Aa	3,13 Aa	3,30 Aa	7,69 Aa	10,99 Aa	33,48 Aa	70 Aa
	C		6,65 Aa	2,97 Aa	2,87 Aa	2,77 Aa	6,52 Aa	9,29 Aa	23,43 Aa	70 Aa
	CJ		6,28 Ba	2,67 Ba	2,63 Aa	3,40 Aa	6,03 Aa	9,43 Aa	14,27 Ba	64 Aa
SPD	M	Fis ^(ns)	6,43 Ba	2,60 Ba	3,33 Aa	3,47 Aa	6,68 Aa	10,14 Aa	15,00 Ba	66 Aa
	C		6,31 Ba	2,50 Ba	2,63 Aa	3,30 Aa	6,41 Aa	9,71 Aa	20,00 Ba	66 Aa
	CJ		6,50 Aa	2,90 Aa	2,70 Aa	3,27 Aa	6,80 Aa	10,07 Aa	22,73 Aa	66 Aa
SC	M	Fis ^(ns)	6,66 Aa	3,30 Aa	2,03 Aa	3,20 Aa	7,91 Aa	11,11 Aa	35,32 Aa	71 Aa
	C		6,42 Aa	3,03 Aa	2,43 Aa	3,20 Aa	6,06 Aa	9,26 Aa	18,91 Aa	65 Aa

Legenda ⁽¹⁾: As médias seguidas de letras iguais, maiúsculas para sistema, minúsculas para coberturas vegetais, e entre as vias de formação a sigla (ns): não significativa, estes pelo teste Tukey, com 5% de probabilidade. SB: soma de bases (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e K⁺); T: capacidade de troca de cátions potencial (SB + (H+Al)); SPD: sistema plantio direto; SC: sistema convencional; Fis: fisiogênico; Bio: Biogênico; CJ: Crotalária (*Crotalaria juncea* - 40 kg ha⁻¹); M: Milheto (*Pennisetum glaucum* - 60 kg ha⁻¹) e C: coquetel (Crotalária - *Crotalaria juncea* - 10 kg ha⁻¹, Feijão-de-Porco - *Canavalia ensiformis* - 75 kg ha⁻¹ e Milheto - *Pennisetum glaucum* - 30 kg ha⁻¹).

Quanto ao sistema de manejo, os únicos atributos em que foram verificadas diferenças significativas foram nos valores de pH e teores de Ca²⁺ e P, sendo os mais elevados no SC (Tabela 2). Os valores médios de pH nos agregados foram superiores a 6,2; em ambos os sistemas de cultivo, e plantas de cobertura, variando de 6,3 a 6,7 no SPD e 6,4 a 6,7 no SC.

Os valores de Ca²⁺ nos agregados variaram entre 1,30 a 3,20 cmolc kg⁻¹ e 1,10 a 4,60 cmolc kg⁻¹, nos sistemas de cultivo SPD e SC, respectivamente (Tabela 2). Os valores de P nos agregados variaram de 0,97 a 39,62 mg kg⁻¹ e 0,95 a 136,12 mg kg⁻¹, nos sistemas SPD e SC, respectivamente. Para o Mg²⁺ nos agregados os teores oscilaram entre 1,20 a 3,90 cmolc kg⁻¹ e 1,60 a 3,80 cmolc kg⁻¹, para SPD e SC, respectivamente (Tabela 2). O conteúdo de K⁺ nos agregados variou de 0,00 a 3,32 cmolc kg⁻¹ e 0,21 a 4,54 cmolc kg⁻¹, nos sistemas SPD e SC, respectivamente. Já os valores de Na⁺ nos agregados estiveram entre 0,04 e 0,18 cmolc kg⁻¹ e 0,04 a 0,24 cmolc kg⁻¹, nos sistemas SPD e SC, respectivamente. O conteúdo de H+Al nos agregados foi baixo, valores variaram de 2,90 a 4,70 cmolc kg⁻¹ e 2,50 a 3,90 cmolc kg⁻¹, nos sistemas SPD e SC, respectivamente (Tabela 2).

Quanto aos valores de soma de bases nos agregados, estes variaram de 2,99 a 8,65 cmolc kg⁻¹ e 4,26 a 10,47 cmolc kg⁻¹, nos sistemas SPD e SC, respectivamente. Os valores de T nos agregados estiveram entre 4,75 e 11,94 cmolc kg⁻¹ e 5,50 a 13,57 cmolc kg⁻¹, nos sistemas SPD e SC, respectivamente. Quanto ao valor de V% nos agregados em geral variou de 39 a 75% e 52 a 79%, nos sistemas SPD e SC, respectivamente.

5.4.3. Carbono e suas frações

Não foram observadas diferenças significativas nas frações de carbono nos agregados entre os sistemas de manejo (SPD e SC) e para as vias de formação. Em relação as coberturas vegetais, os únicos atributos que diferiram foram COP e COam, com maiores valores em COP e menores em COam na área de M (Figura 15). Para os valores de COP nos agregados verificou-se uma amplitude de variação entre 4,30 a 11,37 g kg⁻¹ em M, 1,43 a 8,20 g kg⁻¹ em CJ, e 0,68 a 5,08 g kg⁻¹ em C (Figura 15a).

Para os valores de COam nos agregados foi observada variação entre 3,35 a 22,49 g kg⁻¹ em M, 12,36 a 25,97 g kg⁻¹ em CJ, e 15,61 a 25,29 g kg⁻¹ em C (Figura 15b). Quanto ao conteúdo de COT nos agregados, estes variaram de 9,59 a 26,79 g kg⁻¹ na cobertura M, 15,71 a 24,40 g kg⁻¹ em CJ, 17,45 a 26,39 g kg⁻¹ em C (Figura 15d). Os teores das frações CFLL nos agregados variaram de 1,23 a 3,26 na cobertura M, 1,35 a 3,24 em CJ, e 0,93 a 3,13 g kg⁻¹ (Figura 15c).

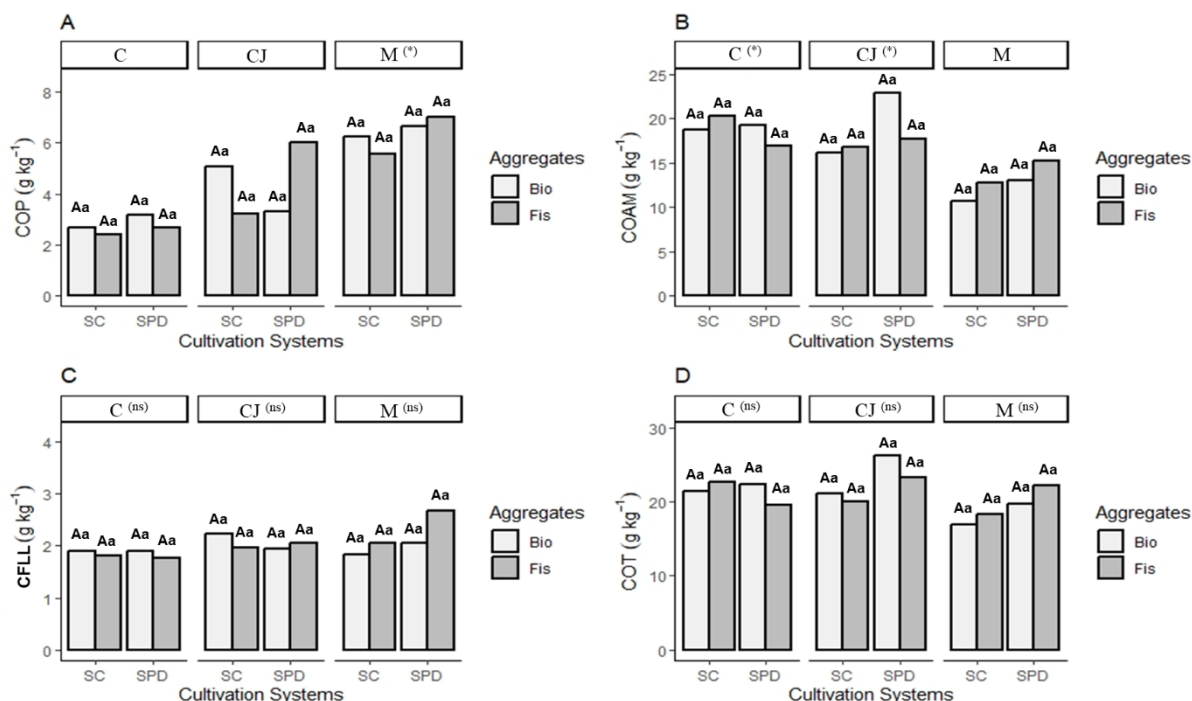


Figura 15. Frações de matéria orgânica do solo de agregados biogênicos (Bio) e fisiogênicos (Fis) de áreas sob diferentes sistemas de cultivo em solos de textura leve, no sudeste do Brasil. As figuras A, B, C, e D, referem-se a COP, COam, CFLL e COT, respectivamente, na profundidade de 0-10 cm. As médias seguidas por letras iguais, maiúsculas para sistemas de cultivo (SPD: Sistema plantio direto; SC: Sistema plantio direto convencional), e minúsculas para as vias de formação (biogênica e fisiogênica), não diferiram significativamente, e nas coberturas vegetais (coberturas vegetais (C2: coquetel, CJ: crotalária e M: milheto) pelos símbolos (*) maiores resultados e (ns) (não significativo), teste de Tukey, com 5% de probabilidade. C: coquetel (Crotalária - *Crotalaria juncea* - 10 kg ha⁻¹, Feijão-de-Porco - *Canavalia ensiformis* - 75 kg ha⁻¹ e Milheto - *Pennisetum glaucum* - 30 kg ha⁻¹), M: Milheto (*Pennisetum glaucum* - 60 kg ha⁻¹) e CJ: Crotalária (*Crotalaria juncea* - 40 kg ha⁻¹). COP: carbono orgânico particulado; COam: carbono orgânico associado aos minerais; e CFLL: Carbono da fração leve livre.

5.4.4. Diversidade bacteriana do solo

A partir da extração do DNA obtido nas amostras dos agregados, fisiogênicos e biogênicos, avaliou-se o rendimento oriundo de sua extração e também o grau de pureza. Estas características afetam no sequenciamento do DNA e devem ser avaliadas, com intuito de se obter uma maior confiabilidade dos resultados (Sant'anna et al., 2020). O DNA obtido na extração apresentou-se dentro da normalidade dos valores de referência, variando entre 1,8 a 2,0, mostrando que o DNA extraído possui qualidade e pureza ideal (Tabela 3) (Kasem et al., 2008).

Tabela 3. Índices de qualidade e pureza do DNA extraído de agregados. ⁽²⁾

Sistema	Via	Cobertura	Ác. Nuc. Ng uL ⁻¹	260/280	Sistema	Via	Cobertura	Ác. Nuc. Ng uL ⁻¹	260/280
SPD	Fis	C2	64,5	1,9	SPD	Fis	C	84,8	2,0
SPD	Bio	C2	44,1	2,0	SPD	Bio	C	44,0	2,0
SPD	Fis	M	33,5	2,0	SPD	Fis	M	82,6	1,9
SPD	Bio	M	130,4	1,9	SPD	Bio	M	102,3	1,9
SPD	Fis	CJ	75,1	1,9	SPD	Fis	CJ	95,9	1,9
SPD	Bio	CJ	159,1	1,9	SPD	Bio	CJ	52,6	2,0
SC	Fis	M	50,8	2,0	SC	Fis	C	112,6	1,9
SC	Bio	M	79,7	1,9	SC	Bio	C	74,3	2,0
SC	Fis	CJ	56,8	2,0	SC	Fis	CJ	83,3	1,9
SC	Bio	CJ	25,0	2,1	SC	Bio	CJ	86,5	1,9
SC	Fis	C	61,0	2,0	SC	Fis	M	132,4	1,9
SC	Bio	C	91,3	1,9	SC	Bio	M	84,8	1,9
SPD	Fis	M	50,9	2,0	SC	Fis	C	105,3	1,9
SPD	Bio	M	29,1	2,0	SC	Bio	C	61,6	1,9
SPD	Fis	CJ	159,1	1,9	SC	Fis	M	96,4	1,9
SPD	Bio	CJ	102,0	1,9	SC	Bio	M	64,8	2,0
SPD	Fis	C	95,2	1,9	SC	Fis	CJ	77,1	1,8
SPD	Bio	C	120,5	1,9	SC	Bio	CJ	42,6	2,0

Legenda⁽²⁾: Quantidade de ácido nucleico (Ác. Nuc) extraído de cada amostra. Sistema Convencional (SC) e Sistema Plantio Direto (SPD). Agregado Biogênico (Bio) e Agregado Fisiogênico (Fis). C: coquetel (Crotalaria - *Crotalaria juncea* - 10 kg ha⁻¹, Feijão-de-Porco - *Canavalia ensiformis* - 75 kg ha⁻¹ e Milheto - *Pennisetum glaucum* - 30 kg ha⁻¹), M: Milheto (*Pennisetum glaucum* - 60 kg ha⁻¹) e CJ: Crotalaria (*Crotalaria juncea* - 40 kg ha⁻¹).

A integridade do DNA foi avaliada pela eletroforese em gel de agarose, em que a presença de bandas únicas em todas as amostras indica um DNA íntegro (Figura 16). Logo, verifica-se que as amostras possuem DNA em quantidade, qualidade e integridade adequadas para as etapas de amplificação (região V3-V4 do gene *rrs*) e sequenciamento.

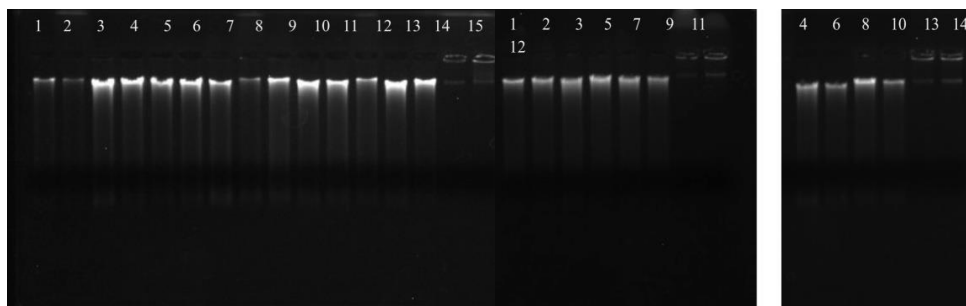


Figura 16. Extração de DNA em Gel de agarose de amostras de agregados (biogênicos e fisiogênicos) sob cultivo em Sistema Plantio Direto (SPD) e Convencional (SC), com diferentes coberturas vegetais (C, CJ e M), em solos de textura leve no sudeste do Brasil.

As curvas de rarefação das ASV's apresentaram tendência de atingir um platô com o número total de sequências analisadas (Figura 17), o que indica que o esforço amostral foi suficiente para cobrir a diversidade existente dos microrganismos, ou seja, o aumento desse valor teria um impacto mínimo no número de ASV's.

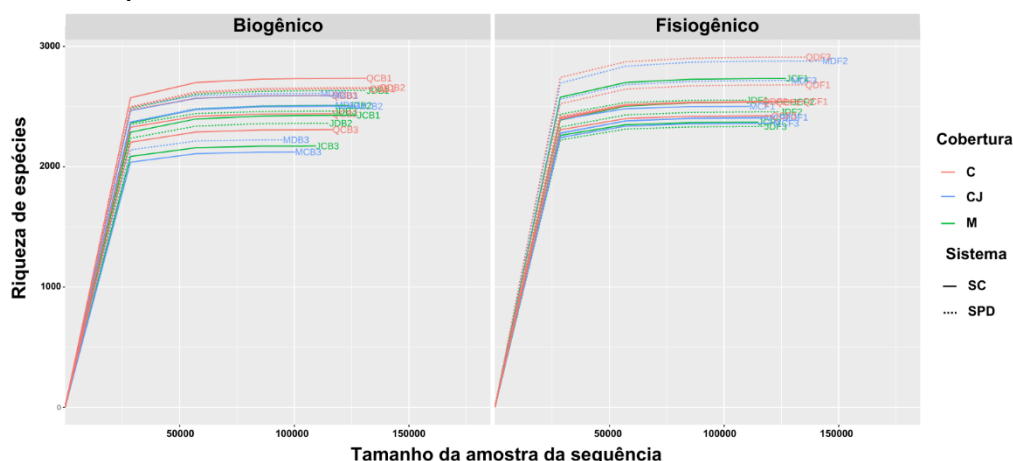


Figura 17. Curvas de rarefação das ASV's por amostra, em agregados biogênicos (Bio) e fisiogênicos (Fis) sob cultivo em Sistema Plantio Direto (SPD) e Convencional (SC), em função das diferentes coberturas vegetais (Coquetel (C), Crotalária (CJ) e Milheto (M)) utilizadas, em solos de textura leve no sudeste do Brasil.

Os valores de riqueza de ASV's, índice de Shannon e índice de Simpson, diferiram significativamente entre os dois sistemas de manejo, sendo que no SPD foram verificados maiores valores em comparação a área de SC (Figura 18). Para os demais fatores a saber: tipo de agregados e plantas de cobertura, não foi observada diferença significativa para nenhum dos atributos avaliados.

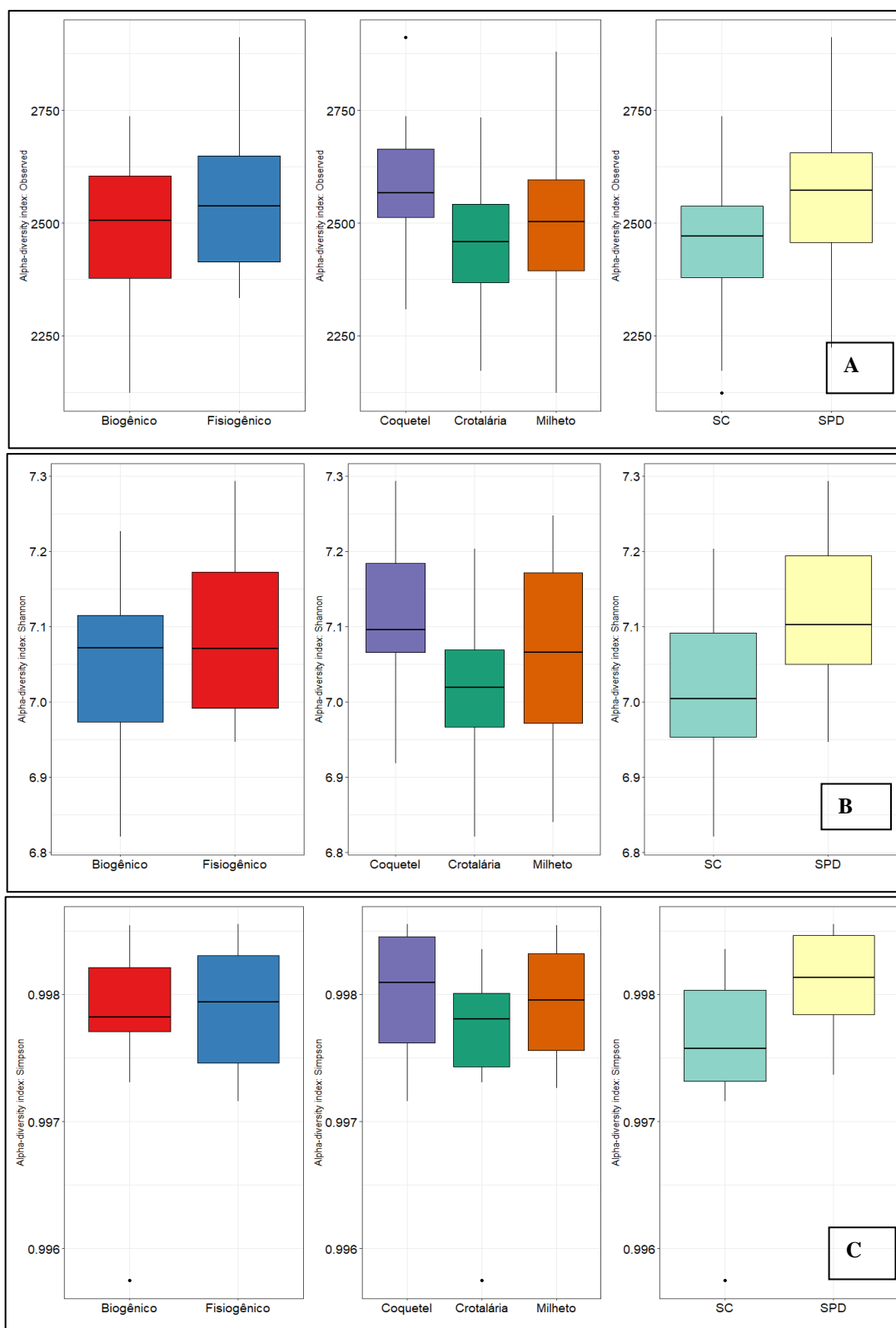


Figura 18. Riqueza observada de ASV's (a) e índices de alfa-diversidade Shannon (b) e Simpson (c), em agregados (biogênicos e fisiogênicos) sob cultivo em Sistema Plantio Direto (SPD) e Convencional (SC), com diferentes coberturas vegetais (Coquetel, Crotalária e Milheto), em solos de textura leve no sudeste do Brasil.

A abundância média dos filos foi organizada em função do conjunto de variáveis estudadas, a saber: cobertura vegetal, sistema de manejo e via de formação. Os filos mais abundantes, foram os filos Proteobacteria, Actinobacteriota, Firmicutes, Acidobacteriota, Chloroflexi, Myxococcota, Bacteroidota, Verrucomicrobiota, Gemmatimonadota, Crenarchaeota e outros. O percentual de abundância do filo Proteobacteria foi o mais elevado, tendo variado em média entre 25,3 a 32,4% (Figura 19).

O filo Actinobacteria foi o segundo mais abundante nos agregados, sendo que o percentual variou em média entre 22,3 a 29,1% (Figura 19). Além dos filos Proteobacteria e Actinobacteria, outro que apresentou grande abundância foi o dos Firmicutes, com percentual médio de abundância média entre 10,9 a 22,6% (Figura 19). Os Acidobacteriota com percentual médio de abundância entre 8,3 a 12,7%. Nos filos Chloroflexi, Myxococcota e Bacteroidota, foi observada abundância menor que 6% (Figura 19).

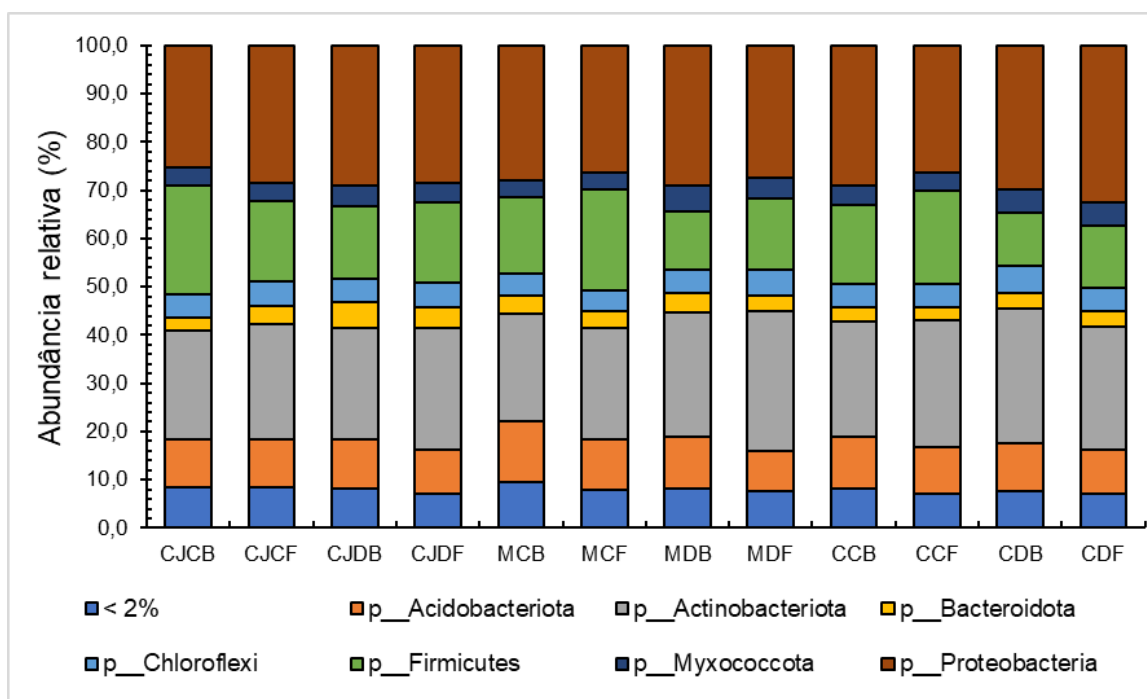


Figura 19. Abundância média dos principais filos bacterianos encontrados em agregados biogênicos (B) e fisiogênicos (F) sob cultivo em Sistema Plantio Direto (D) e Sistema Convencional (C), em função das diferentes coberturas vegetais (coquetel de sementes: C, crotalária: CJ e milho: M), em solos de textura leve no sudeste do Brasil.

As estruturas das comunidades bacterianas, visualizadas através da Análise de Coordenadas Principais (PCoA), não foi alterada pelas plantas de cobertura ($p=0,435$) (Figura 20a) e tipos de agregados ($p=0,485$) (Figura 20b). Contudo, para os sistemas de plantio, SPD e SC, verificaram-se diferenças na estrutura das comunidades bacterianas do solo ($p=0,0001$) (Figura 20c).

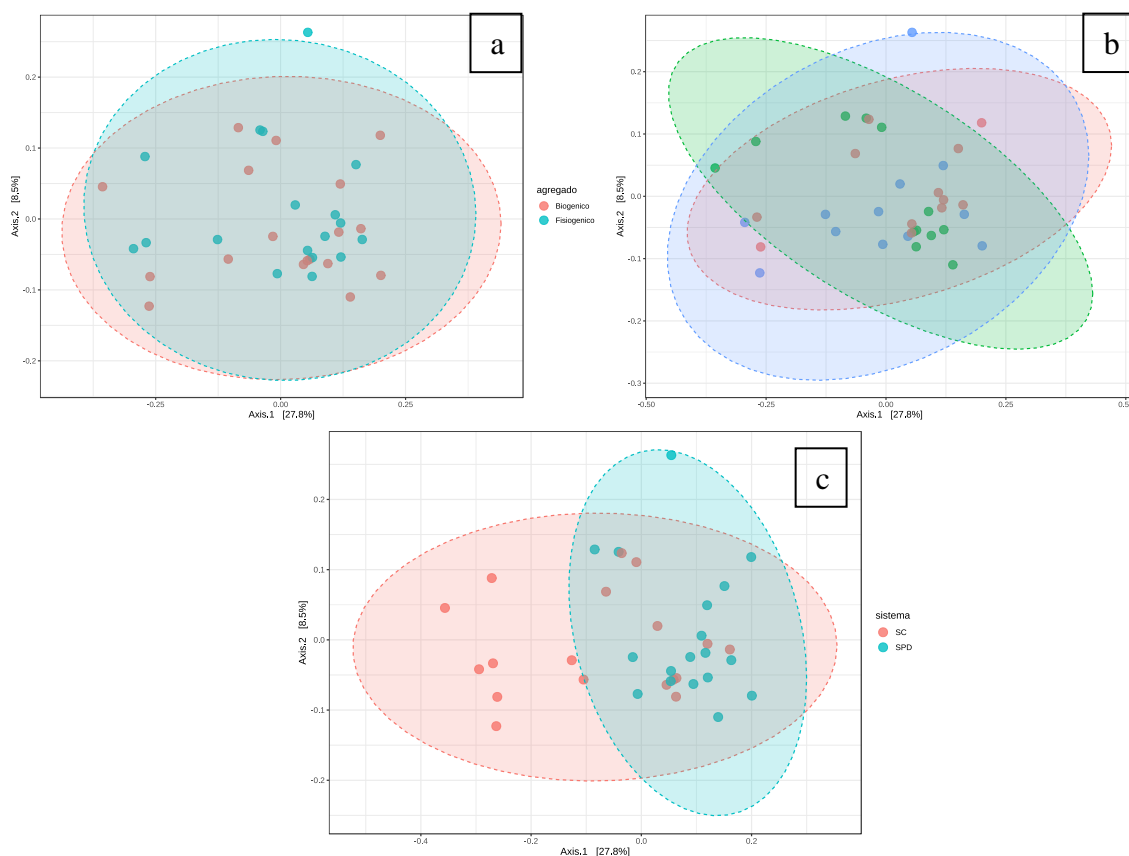


Figura 20. Análise de Coordenadas Principais (PCoA) de agregados biogênicos e fisiogênicos (a), com diferentes coberturas vegetais (coquetel, crotalária e milheto) (b), sob cultivo em Sistema Plantio Direto (SPD) e Convencional (SC) (c), em solos de textura leve no sudeste do Brasil.

Através da análise linear discriminante do tamanho do efeito (LEfSe), não foi observado o efeito das plantas de cobertura e dos tipos de agregados em nenhum dos níveis taxonômicos bacterianos. Porém, entre os sistemas de plantio, houve maior abundância relativa dos filos Firmicutes e Entothionellaeota no SC, enquanto o SPD promoveu maior abundância relativa dos filos WPS 2, GAL15, Bdellovibrionota e Myxococcota (Figura 21).

A nível de espécies, *Fictibacillus barbaricus* (filo Firmicutes) e *Thermoactinomyces vulgaris* (filo Firmicutes) foram mais abundantes no SC, enquanto *Nocardioides oleivorans* (filo Actinomycetota), *Nocardioides hankookensis* (filo Actinomycetota) e *Pseudogulbenkiania ferrooxidans* (filo Proteobacteria) foram mais abundantes no SPD (Figura 22).

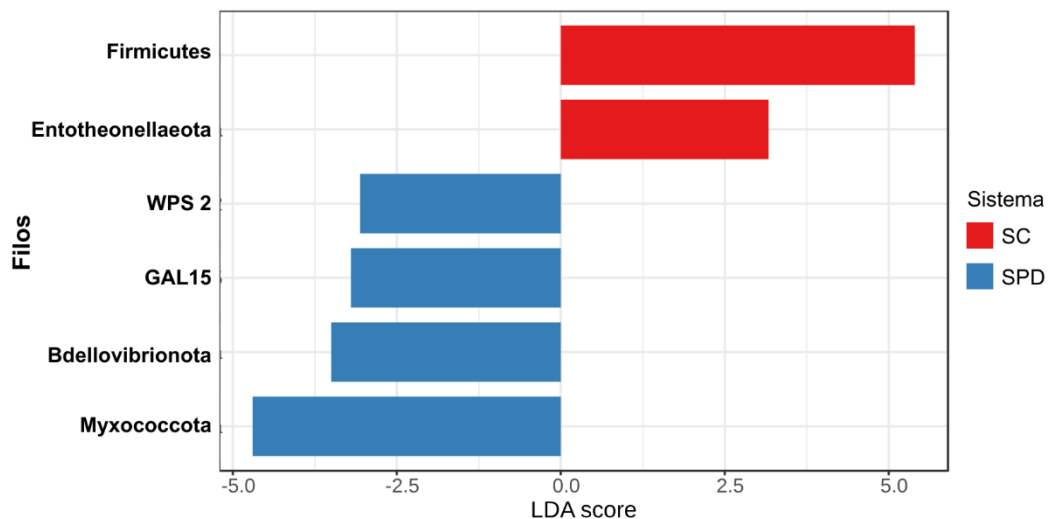


Figura 21. Análise linear discriminante do tamanho do efeito (LEfSe) dos filos bacterianos de agregados biogênicos e fisiogênicos de solos sob cultivo em Sistema Plantio Direto (SPD) e Convencional (SC), com diferentes coberturas vegetais, em solo de textura leve no sudeste do Brasil.

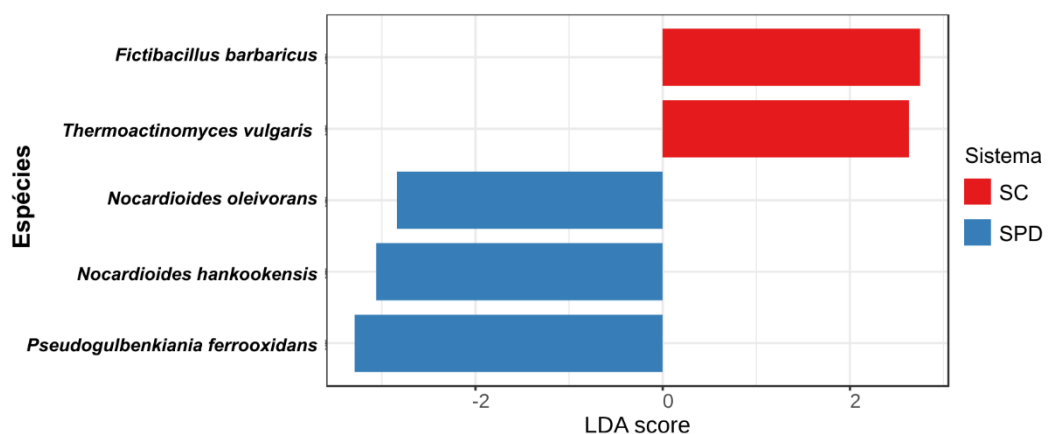


Figura 22. Análise linear discriminante do tamanho do efeito (LEfSe) das espécies bacterianas de agregados biogênicos e fisiogênicos de solos sob cultivo em Sistema Plantio Direto (SPD) e Convencional (SC), com diferentes coberturas vegetais em solo de textura leve no sudeste do Brasil.

5.5. DISCUSSÃO

5.5.1. Vias de formação

A proporção de agregados biogênicos foi superior à dos agregados fisiogênicos, independente dos sistemas de manejo do solo e da cobertura vegetal (Figura 14). O padrão observado pode estar associado ao local de coleta dos agregados, próximo à raízes das plantas. A exsudação de fotoassimilados pelas raízes, compostos que fornecem ao solo fontes de carbono mais lábeis, promove a agregação e impulsiona o desenvolvimento de microrganismos próximos a rizosfera (Souza et al., 2018).

Nos sistemas de manejo conservacionistas são observadas maiores proporções de agregados biogênicos, em função do menor revolvimento do solo e a maior deposição de resíduos vegetais na superfície do solo, o que resulta em maiores níveis de fertilidade e teores de MOS (Batista et al., 2013; Loss et al., 2014a; Pinto, 2020). No entanto, em estudos recentes avaliando diferentes sistemas de manejo e sua influência sobre as vias de formação de agregados, foi observada maior proporção de agregados fisiogênicos no SPD, resultado este associado a compactação do solo, pelo tráfego de máquinas agrícolas e o não revolvimento do solo (Ferreira et al., 2020).

Apesar de não ter sido observada diferença significativa entre as vias de formação entre os sistemas de manejo, espera-se que que a longo prazo o SPD conduza a maior estabilização do carbono e, conseqüentemente, maior proporção de agregados biogênicos. A não expressão deste padrão pode estar associada ao curto período de implementação do SPD, apenas 5 anos. Para que este sistema se estabilize e inicie o acúmulo de palhada e matéria orgânica do solo (MOS) é necessário um período maior, entre 6 a 10 anos após a sua implantação (Inagaki et al., 2016).

5.5.2. Atributos químicos dos agregados

Os valores de pH nos agregados foram superiores a 6,2, sendo classificados como moderadamente ácidos e os valores de alumínio foram iguais a zero, em boa parte das amostras. Com base nos resultados obtidos nos agregados (Tabela 2), os valores dos nutrientes avaliados podem ser considerados médios a altos (Freire et al., 2013). Os maiores teores de Ca^{+2} foram observados no sistema SC (Tabela 2). Corroborando com estes resultados, Margalho & Sakrezenski (2018), em estudo conduzido em Paragominas – PA, avaliaram a influência do manejo sobre atributos químicos e físicos do solo, e observaram que a calagem proporcionou o aumento de cerca de 6% nos teores de $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ nas áreas de SC, quando comparados ao SPD.

Os valores de P nos agregados encontram-se na faixa de médio a muito alto (Tabela 2), segundo Freire et al. (2013), com os maiores valores nas áreas de SC. Em função da baixa mobilidade do P no solo, em sistemas com menor revolvimento este macronutriente tende a apresentar maiores teores nas camadas superficiais, enquanto na profundidade de 0.10-0.20 m os teores de P tendem a ser maiores em sistemas convencionais (Rodrigues et al., 2017; Brown et al., 2018). Em função do sistema biológico empregar insumos orgânicos, com fontes de fósforo orgânico que são menos estáveis e mais facilmente mineralizados, e associado ao maior revolvimento do solo os maiores teores de P são observados no SC (Doydora et al., 2020).

No SC foram observados os maiores valores de pH e teores de Ca^{2+} e P. Estes resultados podem ser decorrentes da incorporação da palhada no solo, o que aumenta o conteúdo de matéria orgânica em profundidade e acelera o processo de mineralização, em superfície, com a liberação de nutrientes no sistema (Santos et al., 2017).

Em alguns estudos em que diferentes sistemas de manejo do solo foram avaliados, os atributos edáficos mostraram resultados superiores no SPD quando comparado ao SC, diferente do que foi observado neste estudo. Estes resultados podem estar associados ao longo período de adoção desses sistemas conservacionistas, de 13 a 20 anos (Troleis et al., 2020), em comparação às áreas avaliadas neste estudo, com apenas 5 anos de implementação do SPD.

5.5.3. Carbono orgânico total e frações da matéria orgânica

Não foram observadas diferenças significativas para os teores de COT nos agregados entre os sistemas de manejo do solo, coberturas vegetais e vias de formação, o que pode estar associado a utilização de plantas de coberturas, que contribuem para o aumento dos valores de COT no solo. Estudos semelhantes também não mostram diferenças no conteúdo de COT, indicando que as coberturas vegetais podem não influenciar os teores em agregados de diferentes vias de formação. Esses resultados podem estar associados a alta capacidade de ciclagem de nutrientes e de deposição de matéria orgânica, via deposição de palhada, nesse sistema de cultivo (Lima et al., 2020). Em estudos anteriores na mesma área, os autores encontraram resultados quanto aos teores de COT, aproximadamente 14% maiores em SPD quando comparados ao SC, mas sem diferença significativa. Esse padrão pode ser atribuído ao revolvimento da cobertura no SC resultando na aceleração da decomposição da MOS e ao menor revolvimento no plantio no SPD (Sant'Anna, 2020).

Os teores de COT nos agregados biogênicos e fisiogênicos, nas áreas com gramíneas permanentes tendem a ser maiores quando comparados a outras coberturas vegetais. O que pode ser devido a maior adição de carbono pelo processo de renovação radicular das gramíneas. Outra fração de carbono que pode ser influenciada positivamente pelas gramíneas é o COp, podendo ser um potencial indicador, em função de sua maior sensibilidade na avaliação da matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de manejo (Webster et al., 2019; Pinto et al., 2022).

Os resultados desta pesquisa para as frações COp e COam corroboram com os outros estudos, em que foi verificado que as práticas conservacionistas promovem o acúmulo da fração de COam, quando comparada ao COp. Esse padrão, de maiores teores de COam, pode estar associado a maior proteção da MO pelas partículas de argila e silte, tornando essa fração menos suscetível a mineralização (Silva Neto et al., 2010; Batista et al., 2013; Loss et al., 2014b).

As coberturas vegetais podem ser utilizadas como condicionadoras do solo, melhorando a sua estrutura e a qualidade, especialmente em solos frágeis, promovendo o aumento dos teores de COT. Esse padrão pode ser decorrente do crescimento vegetal, com a rápida expansão de raízes no solo, e pela decomposição da matéria orgânica, fatores que promovem a maior estabilização dos agregados (Moharana et al., 2016).

Apesar de não terem sido observadas diferenças significativas nos teores de COT entre as variáveis avaliadas (sistemas de manejo, coberturas e vias de formação), alguns estudos observaram diferenças quanto a variação destes teores nos agregados formados pelas diferentes vias biogênicas e fisiogênicas (Silva Neto et al., 2010; Loss et al., 2014b; Rossi et al., 2016; Rossi et al., 2023). A ausência de diferenças significativas pode estar associada ao tempo de adoção do SPD, que na área é de aproximadamente 5 anos (fase de adoção), uma vez que as pesquisas mostram que mudanças significativas tendem a ocorrer com maior expressão na fase de consolidação do sistema plantio direto, entre 10 e 15 anos (Anghinoni, 2007).

5.5.4. Diversidade bacteriana do solo

Não foram verificadas diferenças significativas para a diversidade bacteriana do solo entre as plantas de coberturas vegetais e as vias de formação, porém esta foi distinta entre os sistemas SPD e SC, com maior diversidade e maior riqueza de ASV's nas áreas de SPD (Figura 18). Esse padrão de modificação na distribuição dos microrganismos pode estar associado às práticas de manejo, visto que o revolvimento do solo na área de SC pode afetar a disponibilidade de nutrientes, a umidade e a temperatura do solo (Guedes Filho et al., 2013; Loss et al., 2015; Chaveiro et al., 2022).

Algumas espécies são mais sensíveis as alterações promovidas no solo em função das práticas de manejo e não são capazes de se adaptar as novas condições, o que leva a alteração da estrutura e diversidade da comunidade bacteriana (Ladeira, 2012). Resultados semelhantes foram observados por Carbonetto et al. (2014), nos Pampas – Argentina, avaliando diferentes sistemas de manejo do solo, e os autores também constataram diferenças na estrutura da comunidade microbiana do solo, a qual seleciona os organismos mais bem adaptados as condições intrínsecas geradas por cada sistema.

A diminuição da diversidade bacteriana do solo afeta negativamente a diminuição das fontes de C, que são utilizadas por outros organismos decompositores, sendo esta alteração catalisada pelo revolvimento do solo (Maron et al., 2018; Tardy et al., 2015). No entanto, alguns autores avaliando a influência dos sistemas de manejo de solo sobre os organismos do solo observaram menor diversidade bacteriana em áreas de SPD, padrão este associado ao curto tempo de implementação do sistema, menos de 10 anos. Em função desta menor diversidade, a degradação da matéria orgânica foi reduzida, sendo constatado maior acúmulo de COT no SPD (Qi et al., 2023).

A ausência de diferença significativa para a cobertura vegetal e as vias de formação dos agregados pode estar relacionada a pequena variação proporcionada por estes fatores, visto que as alterações entre a estrutura da comunidade microbiana estão associadas a fatores ambientais e de fertilidade do solo. Avaliando as modificações nos estoques de matéria orgânica e da estrutura da comunidade microbiana em função de diferentes coberturas vegetais, Santos et al. (2016), em Serra Talhada - PE, obtiveram resultados semelhantes aos deste estudo, com ausência de diferenças significativas entre a estrutura da comunidade bacteriana em função das diferentes coberturas vegetais.

Os resultados encontrados revelam que, apesar do curto tempo de estabelecimento do SPD, estando ainda na fase de adoção (Anghinoni, 2007), o sistema já promoveu maior diversidade bacteriana do solo. A maior diversidade de microrganismos do solo é importante pois garante que os processos que ocorrem no solo sejam mantidos mesmo em situações adversas, como a baixa disponibilidade de nutrientes, o excesso de chuvas e restrição hídrica (Zilli et al., 2003).

Neste estudo foi observado que a área de SC apresentou maior abundância dos filos Firmicutes e Entothaeonellaeota (Figura 21). Os Firmicutes são bactérias com metabolismo de homo e heterofermentação, logo sua ocorrência está relacionada a grandes quantidades de nutrientes disponíveis (Madigan et al., 2016). Enquanto os Entothaeonellaeota possuem material genético que codifica a catalase, urease, e pode atuar no acúmulo, transporte e mineralização de metais pesados (Zhang et al., 2021). A maior abundância de Firmicutes e Entothaeonellaeota associada ao SC pode ser atribuída aos maiores valores de nutrientes nesse sistema (Tabela 2).

Na área de SPD, os filos com maior abundância foram WPS_2, GAL15, Bdellovibrionota e Myxococcota (Figura 21). Adicionalmente, pela LEfSe pode-se observar que os Bdellovibrionota e Myxococcota possuem influência do SPD (Figura 21). Esses organismos apresentam capacidade de degradar quitina (Hao et al., 2022), atuando como

predadores de outros microrganismos no solo, promovendo assim a manutenção da diversidade (Hao et al., 2022; Kimeklis et al., 2023). O acúmulo do material vegetal no solo nas áreas de SPD pode ter favorecido o aumento da abundância destes filos.

Os Eremiobacterota ou WSP_2 são altamente diversos, adaptados a várias condições extremas, como acidez e baixa fertilidade, sendo capazes de degradar uma variedade de diferentes compostos orgânicos (Ji et al., 2021). A maior abundância deste filo na área de SPD pode ser decorrente da menor disponibilidade de nutrientes (Tabela 2), em função da maior capacidade de extração pelas plantas neste sistema e o menor revolvimento no plantio.

A maior abundância do filo GAL15 no SPD está associada a alterações na estrutura do solo, com o menor revolvimento do solo pela aração e gradagem, que apresentam correlação negativa com o conteúdo de matéria orgânica, nitrogênio total, teores de potássio e fósforo (Yan et al., 2019). São organismos biorremediadores e estimulantes para o desenvolvimento vegetal, e em situações de alta competição, tendem a atuar como predadores de outros microrganismos (Zhang et al., 2022). Sua maior abundância na área de SPD pode estar associada ao menor revolvimento no plantio e a não utilização de produtos para dessecação da cobertura vegetal.

Apesar do curto tempo de implementação do SPD na área de estudo e da ausência de diferenças significativas quanto aos atributos químicos do solo, é possível observar a influência deste tipo de manejo na estrutura da comunidade bacteriana do solo, o qual proporcionou maior riqueza e diversidade em comparação ao SC. Estes resultados sugerem que maiores diferenças entre os sistemas de manejo do solo possam vir a serem encontradas com o maior tempo de adoção do SPD.

5.6. CONCLUSÕES

Foi verificada uma maior proporção de agregados biogênicos em comparação ao fisiogênicos em todas as áreas, independente do sistema de manejo do solo e da cobertura vegetal.

Os níveis de nutrientes nos agregados diferiram somente entre os sistemas de manejo do solo, sendo os maiores valores associados ao SC.

Os valores de COp e COam foram influenciados pelas coberturas vegetais, sendo na área de milho observados maiores valores de COp, e menores de COam, quando comparados aos quantificados nas coberturas C e CJ.

O sistema de manejo do solo influenciou a estrutura da comunidade e a abundância relativa da comunidade bacteriana, sendo a maior abundância verificada na área de SPD. Também neste sistema foi observada a maior abundância relativa dos filos WPS_2, GAL15, Bdellovibrionota e Myxococcota, e no SC dos filos Firmicutes e Enttheonellaeota.

5.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREWS, S. FastQC: a quality control tool for high throughput sequence data. 2010.
- ANGHINONI, I. **Fertilidade do solo e seu manejo no sistema plantio direto. In Fertilidade do solo.** ed R. F. Novais (Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo), 873–928, 2007.
- AZIZ, I.; MAHMOOD, T.; ISLAM, K.R. Effect of long term no-till and conventional tillage practices on soil quality. **Soil and Tillage Research**. 131, 28-35, 2013.
- BATISTA, I.; CORREIA, M.E.F, PEREIRA, M.G.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J.A.; MELLO, N A. Aggregates characterization of soils under cultivation in cerrado, MS. **Semina: Ciências Agrárias**, 34,1535-1548, 2013.
- BLANCO-CANQUI, H.; RUIS, S.J. No-till and the soil physical environment. **Geoderma**, 326, 164–200, 2018.
- BROWN, V.; BARBOSA, F.T.; BERTOL, I.; MAFRA, Á.L.; MUZEKA, L.M. Efeitos no solo e nas culturas após vinte anos de cultivo convencional e semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 13(1), 1-7, 2018.
- BULLOCK, P.; FEDEROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T. Handbook for soil thin section description. Albrighton, England: **Waine Research**, 1985.
- CALLAHAN, B.J.; MCMURDIE, P.J.; ROSEN, M.J.; HAN, A.W.; JOHNSON, A.J.A.; HOLMES, S.P. DADA2: High-resolution sample inference from Illumina amplicon data. **Nature methods**, 13(7), 581-583, 2016.
- CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. **Geoderma**. 56:449-457, 1992.
- CARBONETTO, B.; RASCOVAN, N.; ÁLVAREZ, R.; MENTABERRY, A.; VÁZQUEZ, M.P. Structure, composition and metagenomic profile of soil microbiomes associated to agricultural land use and tillage systems in Argentine Pampas. **PloS one**, 9(6), e99949, 2014.
- CHEN, S.; ZHOU, Y.; CHEN, Y.; GU, J. Fastp: an ultra-fast all-in-one FASTQ preprocessor. **Bioinformatics**, 34, i884–i890, 2018.
- CHAVEIRO, A.; BONINI, C.D.S.B.; FREITAS, P.G.N.; DE SOUZA REIS, D.C.; DE OLIVEIRA, J.M.K.; DE SOUZA, J.A.L.; HIDALGO, G.F.; DE OLIVEIRA, A.B. Qualidade física e química do solo em sistema de plantio direto cultivado com hortaliças—Uma revisão. **Research, Society and Development**, 11(9), e32711931564-e32711931564, 2022.
- COLE, J.R.; WANG, Q.; FISH, J.A.; CHAI, B.; MCGARRELL, D.M.; SUN, Y.; BROWN, C.T.; ALFARO, A.P.; KUSKE, C.R.; TIEDJE, J.M. Ribosomal Database Project: data and tools for high throughput rRNA analysis. **Nucleic Acids Research**, 42(D1), D633-D642, 2014.

CRUZ, F.A. Instalação e calibração de lisímetro de pesagem e determinação da evapotranspiração de referência para a região de Seropédica – RJ [**Dissertação**]. Seropédica - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2005.

DHARIWAL, A.; CHONG, J.; HABIB, S.; KING, I.L.; AGELLON, L.B.; XIA, J. MicrobiomeAnalyst: a web-based tool for comprehensive statistical, visual and meta-analysis of microbiome data. **Nucleic acids research**, v. 45, n. W1, p. W180-W188, 2017.

DIDION, J. P.; MARTIN, M.; COLLINS, F. S. Atropos: specific, sensitive, and speedy trimming of sequencing reads. **PeerJ**, 5, e3720, 2017.

DONAGEMMA, G.K.; FREITAS, P.L.D, BALIEIRO, F.D.C.; FONTANA, A.; SPERA, S.T.; LUMBRERAS, J.F.; VIANA, J.H.M.; ARAÚJO FILHO, J.C.; SANTOS, F.C.; ALBUQUERQUE, M.R.; MACEDO, M.C.M.; TEIXEIRA, P.C.; AMARAL, A.J.; BORTOLON, E.; BORTOLON, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 51, 1003-1020, 2016.

DOYDORA, S., GATIBONI, L., GRIEGER, K., HESTERBERG, D., JONES, J.L., MCLAMORE, E.S., PETERS, R., SOZZANI, R., VAN DEN BROECK, L., DUCKWORTH, O.W. Accessing Legacy Phosphorus in Soils. **Soil Systems** 4, 74, 2020.

EDGAR, R. Usearch. Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), **Berkeley**, CA (United States). 2010.

FAO, 2008. Investing in Sustainable Agricultural Intensification: The Role of Conservation Agriculture. A Framework for Action. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Rome, Italy.

FERREIRA, A.B.; BOGIANI, J.C.; SOFIATTI, V.; LAMAS, F.M. Sistemas de cultivo de plantas de cobertura para a semeadura direta do algodoeiro. **Embrapa Algodão-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**. 2016.

FERREIRA, C.R.; SILVA NETO, E.C.; PEREIRA, M.G.; GUEDES, J.N.; ROSSET, J.S.; ANJOS, L.H.C. Dynamics of soil aggregation and organic carbon fractions over 23 years of no-till management. **Soil and Tillage Research**, n. 198, p. 1-9, 2020.

FLEMMING, H.C.; WINGENDER, J. The biofilm matrix. **Nature Reviews Microbiology**, 8: 623-633, 2010.

FREIRE, L.R.; BALIEIRO, F.C.; ZONTA, E.; DOS ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G.; LIMA, E.; GUERRA, J.G.M.; FERREIRA, M.B.C.; LEAL, M.A.A.; CAMPOS, D.V.B.; POLIDORO, J.C. **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. Seropédica: Editora Universidade Rural, 430p, 2013.

GUEDES FILHO, O.; DA SILVA, A.P.; GIAROLA, N.F.B.; TORMENA, C.A. Tormena Structural properties of the soil seedbed submitted to mechanical and biological chiseling under no-tillage. **Geoderma**, 204–205, 94-101, 2013.

HAO, C.; DUNGAIT, J.A.; WEI, X.; GE, T.; KUZUYAKOV, Y.; CUI, Z.; TIAN, J.; ZHANG, F. Maize root exudate composition alters rhizosphere bacterial community to control hotspots of hydrolase activity in response to nitrogen supply. **Soil Biology and Biochemistry**, 170, 108717, 2022.

HUANG, J.; HARTEMINK, A.E. Soil and environmental issues in sandy soils. **Earth-Science Reviews**, 208, 103295, 2020.

INAGAKI, T.M.; DE MORAES SÁ, J.C.; DE OLIVEIRA FERREIRA, A.; BRIEDIS, C.; TIVET, F.; ROMANIW, J. Macroagregados como indicadores de qualidade em sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto-Edição**;151, 52016.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: dez de 2023.

JI, M.; WILLIAMS, T.J.; MONTGOMERY, K.; WONG, H.L.; ZAUGG, J.; BERENGUT, J. F.; BISSETT, A.; CHUVOCHINA, M.; HUGENHOLTZ, P.; FERRARI, B.C. Candidatus Eremiobacterota, a metabolically and phylogenetically diverse terrestrial phylum with acid-tolerant adaptations. **The ISME Journal**, 15(9), 2692-2707, 2021.

KIMEKLIS, A.K.; GLADKOV, G.V.; ORLOVA, O.V.; AFONIN, A.M.; GRIBCHENKO, E.S.; AKSENOVA, T.S.; KICHKO, A.A.; PINAEV, A.G.; ANDRONOV, E.E. The Succession of the Cellulolytic Microbial Community from the Soil during Oat Straw Decomposition. **International Journal of Molecular Sciences**, 24(7), 6342, 2023.

LADEIRA, F.S.B. A ação antrópica sobre os solos nos diferentes biomas brasileiros – terras indígenas e solos urbanos. **Entre-Lugar**, 3 (6), 127-139, 2012.

LAHTI, L.; SHETTY, S. **Microbiome R package**. 2012.

LEITE, A.B.; POLLI, H.Q. Agricultura Orgânica no Brasil com enfoque na Agricultura Biodinâmica. **Revista Interface Tecnológica**, 17(1), 417-430, 2020.

LI, Z.; ZHANG, Q.; QIAO, Y.; DU, K.; LI, Z.; TIAN, C.; ZHU, N.; LENG, P.; YUE, Z.; CHENG, H.; LI, F. Influence of straw mulch and no-tillage on soil respiration, its components and economic benefit in a Chinese wheat–maize cropping system. **Global Ecology and Conservation**, 34, e02013, 2022.

LIMA, S.S.D.; PEREIRA, M.G.; SILVA NETO, E.C.D.; FERNANDES, D.A.C.; AQUINO, A. Biogenic and physicogenic aggregates under different crops with black oat in Nova Friburgo, Brazil. **Revista Caatinga**, 33, 299-309, 2020.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B.S.; KOUCHER, L.D.P.; OLIVEIRA, R. A.D.; KURTZ, C.; LOVATO, P.E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J.J. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39, 1212-1224, 2015.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G, COSTA, E.M, BEUTLER, S.J. Frações granulométricas e oxidáveis de matéria orgânica sob diferentes sistemas de uso do solo, no Paraná, Brasil. **Bioscience Journal**, 30, 43-54, 2014.

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**. 30(5), 1347-1357, 2014.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; DOS ANJOS, L.H.C.; RIBEIRO DA SILVA, E.M. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. **Idesia (arica)**. 29(2), 11-19, 2011.

MADIGAN, M.T; MARTINKO, J.M; BENDER, K.S; BUCKLEY, D.H; STAHL, D.A. **Microbiologia de Brock**. 14 ed.; Porto Alegre: Artmed, 1006 p, 2016.

MAGOC, T.; SALZBERG, S.L. FLASH: fast length adjustment of short reads to improve genome assemblies. **Bioinformatics**, 27: 2957–2963, 2011.

MARGALHO, D.A.D.A.; SAKREZENSKI, D.A. Sistemas de preparo do solo sobre atributos químicos e resistência à penetração de um latossolo amarelo e sua influência na produtividade da soja no município de Paragominas, PA. [TCC] 2018.

MARON, P.A.; SARR, A.; KAISERMANN, A.; LÉVÊQUE, J.; MATHIEU, O.; GUIGUE, J.; KARIMI, B.; BERNARD, L.; DEQUIEDT, S.; TERRAT, S.; CHABBI, A.; RANJARD, L. High microbial diversity promotes soil ecosystem functioning. **Applied and Environmental Microbiology**, 84(9), e02738-17, 2018.

MCMURDIE, P. J.; HOLMES, S. Phyloseq: An R package for re -producible interactive analysis and graphics of microbiome cen-sus data. **PLoS One**, 8(4), e61217, 2013.

MENDIBURU, F. Agricolae: Statistical Procedure for Agricultural Research. **R package version 1.3-5**, 2021.

MIKRYUKOV, V. metagMisc: Miscellaneous functions for Metagenomic analysis. 2022.

MOHARANA P.C.; SHARMA, B.M.; BISWAS, D.R. Changes in the Soil Properties and Availability of Micronutrients after Six-Year Application of Organic and Chemical Fertilizers Using Star-Based Targeted Yield Equations under Pearl Millet-Wheat Cropping System, **Journal of Plant Nutrition**, v. 40, n. 2, p. 165-176, 2016.

NOURI, A.; LEE, J.; YIN, X.; TYLER, D.D.; SAXTON, A.M. Thirty-four years of no-tillage and cover crops improve soil quality and increase cotton yield in Alfisols, Southeastern USA. **Geoderma**, 337, 998-1008, 2019.

PARKS, D.H.; CHUVOCHINA, M.; RINKE, C.; MUSSIG, A.J.; CHAUMEIL, P.A.; HUGENHOLTZ, P. GTDB: an ongoing census of bacterial and archaeal diversity through a phylogenetically consistent, rank normalized and complete genome-based taxonomy. **Nucleic Acids Research**, 50 (D1), D785-D794, 2022.

PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; BATISTA, I.; MELO, T.R.; SILVA NETO, E.C.; PINTO, L.A.S.R. Biogenic and physicogenic aggregates: formation pathways, assessment techniques, and influence on soil properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 45:e0210108, 2021.

PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.D.; MACHADO, P.D.A. Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 28, 731-737, 2004.

PINTO, L.A.D.S.R. Matéria orgânica e atributos edáficos de agregados em áreas de sistemas plantio direto no Cerrado mineiro [**Dissertação**]. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2020.

PINTO, L.A.D.S.R.; MORAIS, I.D.S.; OZÓRIO, J.M.B.; DE MELO, T.R.; ROSSET, J.S.; PEREIRA, M.G. Soil aggregation and associated organic matter under management systems in sandy-textured soils, subtropical region of Brazil, **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 195, n. 1, p. 253, 2022.

PULLEMAN, M.M.; SIX, J.; VAN BREEMEN, N.; JONGMANS, A.G. Soil organic matter distribution and microaggregate characteristics as affected by agricultural management and earthworm activity. **European Journal of Soil Science**, v.56, p.453-467, 2005.

QI, J.Y.; YAO, X.B.; LU, J.; HE, L.X.; CAO, J.L.; KAN, Z.R.; WANG, X.; PAN, S.G.; TANG, X.R. A 40% paddy surface soil organic carbon increase after 5-year no-tillage is linked with shifts in soil bacterial composition and functions. **Science of The Total Environment**, 859, 160206, 2023.

QUAST, C.; PRUESSE, E.; YILMAZ, P.; GERKEN, J.; SCHWEER, T.; YARZA, P.; PEPLIES J.; GLOCKNER, F.O. The SILVA ribosomal RNA gene database project: improved data processing and web-based tools. **Nucleic Acids Research**, 41, 590–596, 2012.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2020.

ROCHA, L.V.; BIASI, D.; ZONTA, E.; PEREIRA, M.G.; RIBEIRO, J.C. No-tillage in organic production system: production parameters and biomass decomposition. **Comunicata Scientiae**. 12, e3157, 2021.

RODRIGUES, M.; RABÊLO, F.H.S.; CASTRO, H.A.; ROBOREDO, D.; CARVALHO, M.A.C.; ROQUE, C.G. Changes in chemical properties by use and management of an Oxisol in the Amazon biome. **Revista Caatinga**, 30 (2), 278-286, 2017.

ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.G.; MOURA, O.V.T.D.; ALMEIDA, A.P.C.D. Vias de formação, estabilidade e características químicas de agregados em solos sob sistemas de manejo agroecológico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 51, 1677-1685, 2016.

ROSSI, C.Q.; PINTO, L.A.; DE MOURA, O.V.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G. Soil organic matter in biogenic, intermediate and physicogenic aggregates under agroecological management. **Revista Caatinga**, 36, 167-176, 2023.

SALVIANO, A.M.; CUNHA, T.J.F.; OLSZEWSKI, N.; OLIVEIRA NETO, M.B.; GIONGO, V.; QUEIROZ, A.F.; MENEZES, F.J.S. Potencialidades e limitações para o uso agrícola de solos arenosos na região semiárida da Bahia. **MAGISTRA**, 28, 137-148, 2017.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; DE LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. DE; ARAUJO FILHO, J.C.DE, OLIVEIRA, J.B.DE, CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, O.F.; SOUZA, H.M.; OLIVEIRA, M.P.; CALDAS, M.B.; ROQUE, C.G. Propriedades químicas de um Latossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista de Agricultura Neotropical**. 4(1), 36-42, 2017.

SANTOS, U.J.D. Frações do carbono e indicadores biológicos em solo do semiárido sob diferentes usos e coberturas vegetais [**Dissertação**]. Garanhuns - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2016.

SANT'ANNA, G.S.L. Diversidade bacteriana em solos cultivados com diferentes plantas de cobertura sob sistema plantio direto e convencional em unidade de produção orgânica [**Dissertação**]. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2020.

SCHIAVO, J.A.; ROSSET, J.S.; PEREIRA, M.G.; SALTON, J.C. Índice de manejo de carbono e atributos químicos de Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 46, 1332-1338, 2011.

SEGATA, N.; IZARD, J.; WALDRON, L.; GEVERS, D.; MIROPOLSKY, L.; GARRETT, W.S.; HUTTENHOWER, C. Metagenomic biomarker discovery and explanation. **Genome biology**, v. 12, p. 1-18, 2011.

SOUZA, E.D.; DA SILVA, F.D.; PACHECO, L.P.; LAROCA, J.D.S.V.; DE SOUZA, J.M.A.; BONETTI, J.A. Matéria orgânica do solo em sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil. In: SOUZA E.D.; SILVA F.D.; ASSMANN, T.S.; CARNEIRO, M.C.C.; CARVALHO, P.C.F.; PAULINO, H.P. **Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil**. Tubarão: Copiart, cap. 7, pp. 107-122, 2018.

SOUZA, R.S.D. Agregação como indicadora de qualidade do solo em áreas sob diferentes usos e manejos [**Dissertação**]. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2021.

SILVA NETO, L.F.; SILVA, I.F.; INDA JUNIOR, A.V.; NASCIMENTO, P.C. Atributos físicos e químicos de agregados pedogênicos e de coprólitos de minhocas em diferentes classes de solos da Paraíba. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.6, p.1365-1371, 2010.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; GRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, 79:7-31, 2004.

TARDY, V.; SPOR, A.; MATHIEU, O.; LÉVÈQUE, J.; TERRAT, S.; PLASSART, P.; REGNIER, T.; BARDGETT, R.D.; VAN DER PUTTEN, W.H.; ROGGERO, P.P.; SEDDAIU, G.; BAGELLA, S.; LEMANCEUA, P.; RANJARD, L.; MARON, P.A. Shifts in microbial

diversity through land use intensity as drivers of carbon mineralization in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, 90, 204-213, 2015.

TROLEIS, M.J.B.; MONTANARI, R.; SENA, K.N.; SOUZA, P.T.; BARBIERI, R.S.; YANO, ÉLCIO H.; GONZÁLEZ, A.P. Management systems and soil quality in soybean production in the low altitude closure. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 8, p. e571985862, 2020.

TYAGI, A.; XIAO, H.; CHIN, K.G.; LEE, F.H. Model for predicting the unit weight of cement-treated soils. **Soils and Foundations**, 59(6), 1921-1932, 2019.

WEBSTER, E.; GAUDIN, A.C.; PULLEMAN, M.; SILES, P.; FONTE, S.J. Improved pastures support early indicators of soil restoration in low-input agroecosystems of Nicaragua. **Environmental Management**, 64, 201-212, 2019.

YAN, H.; YANG, F.; GAO, J.; PENG, Z.; CHEN, W. Subsoil microbial community responses to air exposure and legume growth depend on soil properties across different depths. **Scientific Reports**, 9 (1), 18536, 2019.

YEOMANS J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. 19(13), 1467-1476, 1988.

ZHANG, J.; SHI, Q.; FAN, S.; ZHANG, Y.; ZHANG, M.; ZHANG, J. Distinction between Cr and other heavy-metal-resistant bacteria involved in C/N cycling in contaminated soils of copper producing sites. **Journal of Hazardous Materials**, 402, 123454, 2021

ZHANG, X.; ZENG, B.; LI, H.; HUANG, J.; JIANG, L.; ZHANG, X.; TAN Z.; WU, Z.; QIN, X.; FENG, C.; HUANG, Z. Soil heavy metals and phytoremediation by *Populus deltoides* alter the structure and function of bacterial community in mine ecosystems. **Applied Soil Ecology**, 172, 104359, 2022.

ZILLI, J.É.; RUMJANEK, N.G.; XAVIER, G.R.; DA COSTA COUTINHO, H.L.; NEVES, M.C.P. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, 20(3), 391-411, 2003.

6. CONCLUSÕES GERAIS

As vias de formação biogênicas são superiores a fisiogênicas até 10 cm de profundidade, não sendo observada influência significativa do sistema de manejo e/ou da cobertura vegetal.

Os níveis de nutrientes nos agregados foram influenciados pelos sistemas de manejo, sendo observados os maiores valores no SC.

Os níveis de nutrientes nos agregados não diferiram significativamente entre as coberturas vegetais ou vias de formação (biogênicas e fisiogênicas).

A cobertura M influenciou nos valores de carbono das frações COp e COam, sendo os maiores valores observados para COp e os menores para COam. As demais frações de carbono orgânico não foram influenciadas pelo sistema de manejo ou vias de formação.

A estrutura e a diversidade bacteriana foram influenciadas pelo sistema de manejo, sendo os maiores valores de abundância associados ao SPD. Todavia, foram verificadas diferenças entre as vias de formação ou coberturas vegetais.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os atributos avaliados apresentaram diferentes respostas quanto ao sistema de manejo do solo e a cobertura vegetal, sendo que este resultado pode ser decorrente do pequeno tempo de instalação do experimento.

Como indicadores potenciais destacam-se as frações do carbono orgânico e a diversidade da comunidade microbiana, que mostraram maior sensibilidade em função da variação de sistemas de manejo e cobertura vegetal.

Faz-se necessário maior tempo de monitoramento das propriedades avaliadas e mesmo a seleção de outros atributos que possam vir a ser utilizados como indicadores de qualidade do solo.

Solos de textura arenosa demandam maior tempo de adoção de sistemas conservacionistas, como os utilizados, para que as melhorias nas propriedades do solo possam ser observadas.

8. ANEXOS

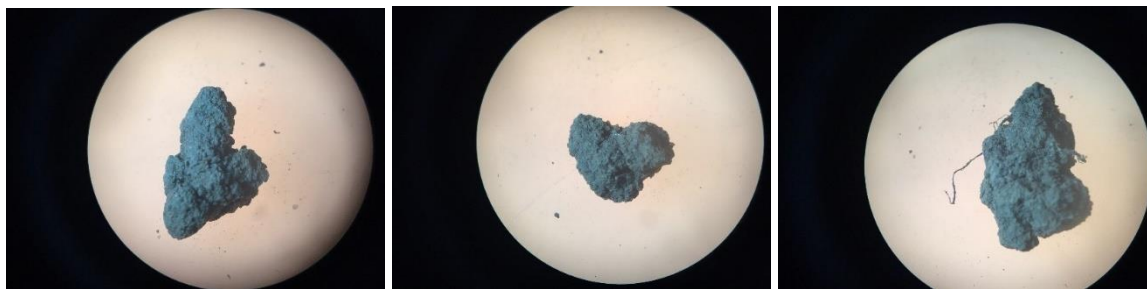


Figura 1 a 3. Agregados biogênicos vistos em lupa, de solos arenosos da Baixada Fluminense, Seropédica - RJ. **Fotos:** Tiago Paula da Silva, 2022.



Figura 4 a 6. Agregados fisiogênicos, vistos em lupa, de solos arenosos da Baixada Fluminense, Seropédica - RJ. **Fotos:** Tiago Paula da Silva, 2022.



Figura 7 e 8. Cultura do quiabo na área de estudos (Sítio do Sol), em solos arenosos na Baixada Fluminense, Seropédica - RJ. **Fotos:** Tiago Paula da Silva, 2022.



Figura 9 e 10. Plantas de coberturas, plantas espontâneas (P.E) e milheto (M), respectivamente, em solos arenosos na Baixada Fluminense, Seropédica - RJ. **Fotos:** Tiago Paula da Silva, 2023.



Figura 11 e 12. Plantas de coberturas, feijão-de-porco (F.P) e coquetel 1 (C1), respectivamente, em solos arenosos na Baixada Fluminense, Seropédica - RJ. **Fotos:** Tiago Paula da Silva, 2023.



Figura 13 e 14. Plantas de coberturas, coquetel 2 (C2) e crotalária (CJ), respectivamente, em solos arenosos na Baixada Fluminense, Seropédica - RJ. **Fotos:** Tiago Paula da Silva, 2023.



Figura 15. Amostra indeformada coletada para análise, em solos arenosos na Baixada Fluminense, Seropédica - RJ. **Foto:** Tiago Paula da Silva, 2022.