



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOSSISTEMAS

Agnes Mitsuyo Shimosaka

Caracterização físico-química de agregados no Sistema Silvipastoril com Núcleos: uma análise comparativa em diferentes usos e ocupações dos solos.

Florianópolis

2022

Agnes Mitsuyo Shimosaka

Caracterização físico-química de agregados no Sistema Silvipastoril com Núcleos: uma análise comparativa em diferentes usos e ocupações dos solos.

Dissertação/Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em Agroecossistemas

Orientador: Prof. Abdon Luiz Schmitt Filho, Dr.

Coorientador: Prof. Arcângelo Loss, Dr.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Shimosaka, Agnes Mitsuyo

Caracterização físico-química de agregados no Sistema Silvipastoril com Núcleos : uma análise comparativa em diferentes usos e ocupações dos solos. / Agnes Mitsuyo Shimosaka ; orientador, Abdon Luiz Schmitt-Filho, coorientador, Arcângelo Loss, 2022.

101 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós Graduação em Agroecossistemas, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Agroecossistemas. 2. Gênese de Agregados. 3. Sistema Silvipastoril com núcleos arbóreos. I. Schmitt-Filho, Abdon Luiz . II. Loss, Arcângelo. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. IV. Título.

Agnes Mitsuyo Shimosaka

Caracterização físico-química de agregados no Sistema Silvipastoril com Núcleos: uma
análise comparativa em diferentes usos e ocupações dos solos.

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora
composta pelos seguintes membros:

Prof. Jucinei José Comin, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Itaynara Batista, Dra.

Universidade Federal Fluminense

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado
adequado para obtenção do título de mestre em Agroecossistemas

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Abdon Luiz Schmitt Filho, Dr.

Orientador

Florianópolis, 2022.

Este trabalho é dedicado à minha querida avó.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pela bolsa que me manteve durante meus estudos. Aos professores e ao Programa de Agroecossistemas, que me proporcionaram o curso. Aos meus amigos que me auxiliaram nas coletas e realização de análises. E por último, porém mais importante, à minha família.

RESUMO

A qualidade física, química e biológica do solo para a produção de alimentos está diretamente relacionada com a capacidade do solo de formar agregados. Os agregados do solo podem ser classificados em biogênicos, caso derivem da ação de fauna e raízes, ou fisiogênicos, caso sejam originados de fatores físico-químicos. Este estudo objetivou separar e classificar morfologicamente os agregados do solo em biogênicos e fisiogênicos, com posterior caracterização física e química desses agregados em diferentes sistemas de uso da terra em Santa Rosa de Lima, SC. Os sistemas avaliados foram: Pastagem (PA); Frutífera consorciada com plantas de cobertura (FR); Sistema Silvipastoril com núcleos arbóreos (SSPnúcleos) e área de Floresta (FL). A hipótese testada infere que o sistema silvipastoril com núcleos arbóreos propicia agregados de qualidade química e física semelhante à área de floresta em função da semelhança de ambiente vegetal e biológico. As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0-5 e 5-10 cm. Após a separação e quantificação dos agregados biogênicos e fisiogênicos, em cada uma dessas vias foram avaliados: estabilidade em via úmida; carbono e nitrogênio totais e das frações granulométricas. Com terra fina seca ao ar foram avaliados: matéria orgânica leve e glomalina total e facilmente extraível. Nas duas camadas avaliadas, a pastagem apresentou-se como o uso do solo com maior proporção de agregados biogênicos. A floresta foi o uso do solo que apresentou maiores teores de carbono e nitrogênio totais e associados aos minerais nos macroagregados biogênicos e fisiogênicos, enquanto a pastagem apresentou maiores valores de carbono e nitrogênio particulados nos macroagregados biogênicos. A área de Frutífera apresentou os menores valores de Matéria orgânica leve em água (MOL) nas duas camadas avaliadas, e também menores teores de glomalina facilmente extraível. O SSPnúcleos foi o tratamento que apresentou maior teor de MOL na camada superficial do solo. O maior teor de glomalina foi encontrado na área de floresta. A textura é semelhante no solo e nos agregados. De maneira geral, conclui-se que : A maior proporção de agregados biogênicos na área de pastagem está relacionada à presença de gramíneas e do manejo em pastoreio racional voisin; Os agregados biogênicos apresentam maior estabilidade que os agregados fisiogênicos em todos os sistemas avaliados, exceto na pastagem; O uso de leguminosas na área de frutífera e SSPnúcleos influenciou positivamente nos maiores valores de carbono e nitrogênio totais do solo, assim como do carbono e nitrogênio associados aos minerais, em comparação a área de pastagem nas duas vias de formação de agregados; Comparando as áreas de pastagem e SSPnúcleos, de maneira geral, o SSPnúcleos está aumentando os teores de carbono e nitrogênio totais e das frações granulométricas, principalmente nos agregados biogênicos. E quando comparamos as vias de formação, os biogênicos se diferenciam dos fisiogênicos apenas no SSPnúcleos, indicando melhor qualidade química.

Palavras-chave: Gênese de agregados. Separação morfológica. Sistema silvipastoril com núcleos arbóreos. Pastoreio racional voisin. Carbono orgânico particulado.

ABSTRACT

The physical, chemical and biological quality of soil for food production is directly related to the soil's ability to form aggregates. Soil aggregates can be classified as biogenic, if they are derived from the action of fauna and roots, or physiogenic, if they originate from physicochemical factors. This study aimed to separate and morphologically classify soil aggregates into biogenic and physiogenic, with subsequent physical and chemical characterization of these aggregates in different land use systems in Santa Rosa de Lima, SC. The systems evaluated were: Pasture (PA); Fruit tree intercropped with cover crops (FR); Silvopastoral system with arboreal nuclei (SSPnucleus) and Forest area (FL). The tested hypothesis infers that the silvopastoral system with tree nuclei provides aggregates of chemical and physical quality similar to the forest area due to the similarity of plant and biological environment. Soil samples were collected in the 0-5 and 5-10 cm layers. After separating and quantifying the biogenic and physiogenic aggregates, in each of these pathways, the following were evaluated: stability in the wet pathway; total carbon and nitrogen and particulates fractions. Light organic matter and total and easily extractable glomalin were evaluated with soil samples dried. In the two evaluated layers, pasture was the land use with the highest proportion of biogenic aggregates. The forest was the land use that presented the highest contents of total and mineral associated carbon and nitrogen in the biogenic and physiogenic macroaggregates, while the pasture presented the highest particulate carbon and nitrogen values in the biogenic macroaggregates. The FR area showed the lowest light organic matter (MOL) values in the two evaluated layers, and also the lowest levels of easily extractable glomalin. SSPnucleos was the treatment with the highest MOL content in the soil surface layer. The highest content of glomalin was found in the forest area. The texture is similar in soil and aggregates. In general, it is concluded that: The highest proportion of biogenic aggregates in the pasture area is related to the presence of grasses and the management in rational voisin grazing; Biogenic aggregates showed greater stability than physiogenic aggregates in all evaluated systems, except for pasture; The use of legumes in the area of fruit and SSPnuclei positively influenced the highest values of total nitrogen and carbon of the soil, as well as mineral associated carbon and nitrogen, compared to pasture area in the two aggregate formation pathways; Comparing the pasture areas and SSPnucleus, in general, the SSPnucleus is increasing the contents of total carbon and nitrogen and of the granulometric fractions, mainly in the biogenic aggregates. When compared the formation pathways, the biogenic ones differ from the physiogenic ones only in the SSPnucleus, indicating better chemical quality.

Keywords: Aggregate genesis. Morphological separation. Silvopastoral system with arboreal nuclei. Voisin rational grazing. Particulate organic carbon.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Morfologia dos agregados. Formas biogênicas (esquerda) e fisiogênica (direita) ambas avaliadas neste estudo.....	26
Figura 2: Imagem de satélite da propriedade Encanto Verde, estudada em Santa Rosa de Lima – SC. Dentro da área destacada em amarelo encontram-se as localizações das áreas avaliadas. PA: pastagem; FR: frutífera; SSPnúcleos: sistema silvipastoril com núcleos arbóreos e FL: floresta.....	38
Figura 3: Montagem fotográfica com a imagem dos tratamentos avaliados em Santa Rosa de Lima, SC. FR: Frutífera; SSPnúcleos: Sistema Silvipastoril com núcleos arbóreos; PA: Pastagem e FL: Floresta.....	41
Figura 4: densidade do solo ($Mg.m^{-3}$) avaliada em duas profundidades em Santa Rosa de Lima, SC.....	70
Figura 5: Matéria orgânica leve em água ($g.Kg^{-1}$) avaliada em duas profundidades em Santa Rosa de Lima, SC.....	74
Figura 6: Glomalina ($mg.g^{-1}$) avaliada na profundidade de 0-10 cm do solo em Santa Rosa de Lima, SC.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Distribuição (%) dos agregados por classe morfológica na amostra em duas profundidades em Santa Rosa de Lima, SC.....	49
Tabela 2: Valores de diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG), em mm, nas duas camadas avaliadas para as duas vias de formação de agregados de solo em Santa Rosa de Lima, SC.....	51
Tabela 3: Distribuição da massa de agregados (g) de agregados biogênicos e fisiogênicos nas diferentes classes de tamanho e em diferentes sistemas de uso da terra em Santa Rosa de Lima, SC.....	56
Tabela 4: Carbono orgânico total (COT), Carbono orgânico particulado (COp) e Carbono orgânico associado aos minerais (COam) nos tratamentos floresta (FL), Frutífera (FR), Pastagem (PA) e Sistema Silvipastoril com núcleos arbóreos (SSPnúcleos) para agregados biogênicos (B) e fisiogênicos (F) nas camadas de 0-5 e 5-10 cm avaliados em Santa Rosa de Limas, SC.....	63
Tabela 5: Nitrogênio Total (NT), Nitrogênio orgânico particulado (Nop) e Nitrogênio associado aos minerais (Nam) nos tratamentos floresta (FL), Frutífera (FR), Pastagem (PA) e Sistema Silvipastoril com núcleos arbóreos (SSP) para agregados biogênicos (B) e fisiogênicos (F) nas camadas de 0-5 e 5-10 cm avaliados em Santa Rosa de Limas, SC.....	64
Tabela 6: Carbono (C), Nitrogênio (N) e relação C/N de macroagregados biogênicos (B) e fisiogênicos (F) de floresta (FL), Frutífera (FR), pastagem (PA), e Sistema silvipastoril com núcleos arbóreos (SSP) nas camadas 0-5 cm e 5-10 cm em Santa Rosa de Lima, SC.....	68
Tabela 7: Carbono (C), Nitrogênio (N) e relação C/N de microagregados biogênicos (B) e fisiogênicos (F) de floresta (FL), Frutífera (FR), pastagem (PA), e Sistema silvipastoril com núcleos arbóreos (SSP) nas camadas 0-5 cm e 5-10 cm em Santa Rosa de Lima, SC.....	69
Tabela 8: Composição granulométrica realizado na terra fina seca ao ar e nos agregados biogênicos e fisiogênicos nos diferentes sistemas de uso do solo de Santa Rosa de Lima- SC.	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGREC: Associação dos Agricultores Ecológicos das Encostas da Serra Geral

BSA: Bovine serum albumin

COam: Carbono orgânico associado aos minerais

COp: Carbono orgânico particulado

COT: Carbono orgânico total

DMG: Diâmetro médio geométrico dos agregados

DMP: Diâmetro médio ponderado dos agregados

Ds: Densidade do solo

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations

FMA: Fungos micorrízicos arbusculares

IESA: Instituto de Estudos Socioambientais

LAPIG: Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento

MAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MOL: Matéria orgânica leve em água

MOS: Matéria orgânica do solo

Nam: Nitrogênio associado aos minerais

Np: Nitrogênio particulado

NT: Nitrogênio total

SAF: Sistema Agroflorestal

SPDH: Sistema de plantio direto de hortaliças

TFSA: Terra fina seca ao ar

UFSC: Universidade Federal de Santa Catarina

VBP: Valor bruto da produção

SUMÁRIO

Índice

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 OBJETIVOS.....	20
1.1.1 Objetivo Geral.....	20
1.1.2 Objetivos Específicos.....	20
1.1.3 Hipótese.....	21
2 DESENVOLVIMENTO.....	22
2.1 AGREGADOS DO SOLO.....	22
2.2 VIAS DE FORMAÇÃO DE AGREGADOS.....	24
2.3 DIFERENÇAS FÍSICAS E QUÍMICAS DE AGREGADOS BIOGÊNICOS E FISIOGÊNICOS.....	26
2.4 USOS DO SOLO E A INFLUÊNCIA NA FORMAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS.....	29
2.4.1 Florestas.....	29
2.4.2 Frutíferas consorciadas com plantas de cobertura na entrelinha.....	31
2.4.3 Pastagens.....	32
2.4.4 Sistemas Silvistoris.....	34
<i>2.4.4.1 Sistema Silvistoril com Núcleos Arbóreos.....</i>	<i>36</i>
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	38
3.2 HISTÓRICO E DESCRIÇÃO DAS ÁREAS AVALIADAS.....	39
3.3 AMOSTRAGEM.....	41
3.4 PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS.....	42
3.5 ANÁLISES.....	43
3.5.1 Análises de agregados.....	43
<i>3.5.1.1 Porcentagem em Massa de Agregados Biogênicos e Fisiogênicos.....</i>	<i>43</i>

3.5.1.2 Estabilidade de Agregados.....	43
3.5.1.3 Determinação dos teores de carbono e nitrogênio total nos agregados biogênicos e fisiogênicos antes da estabilidade via úmida.....	44
3.5.1.4 Determinação dos teores de carbono e nitrogênio total nos macroagregados e microagregados biogênicos e fisiogênicos após a estabilidade via úmida.....	44
3.5.1.5 Fracionamento Granulométrico da Matéria Orgânica de Agregados.....	45
3.5.1.6 Textura.....	45
3.5.2 Análises de solo.....	46
3.5.2.1 Densidade.....	46
3.5.2.2 Glomalina.....	46
3.5.2.3 Matéria Orgânica Leve Em Água.....	47
3.6 ESTATÍSTICA.....	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.1 PORCENTAGEM DE AGREGADOS BIOGÊNICOS E FISIOGÊNICOS.....	49
4.2 ESTABILIDADE DE AGREGADOS.....	51
4.2.1 Diâmetros Médios Ponderado (DMP) e Geométrico (DMG) dos agregados biogênicos e fisiogênicos.....	51
4.2.2 Distribuição da massa de Macro, Meso e Microagregados.....	54
4.3 CARBONO E NITROGÊNIO TOTAIS E DAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA NOS MACROAGREGADOS (8,00 > Ø ≥ 4,0 mm).....	57
4.4 CARBONO E NITROGÊNIO NOS MACROAGREGADOS E MICROAGREGADOS BIOGÊNICOS E FISIOGÊNICOS.....	65
4.5 DENSIDADE E TEXTURA DO SOLO.....	70
4.6 MATÉRIA ORGÂNICA LEVE EM ÁGUA.....	73
4.7 GLOMALINA.....	75
5 CONCLUSÃO.....	78
REFERÊNCIAS.....	79

PREFÁCIO

O presente trabalho foi realizado de forma a complementar os estudos acerca de um novo conceito de sistema silvipastoril, denominado Sistema Silvipastoril com Núcleos Arbóreos (SSPnúcleos). Trata-se de um design embasado na teoria da nucleação, desenvolvido inicialmente pelos Prof. Dr. Abdon Luiz Schmitt Filho e Prof. Dr. Alfredo Celso Fantini (Laboratório de Sistemas Silvipastoris e Restauração Ecológica/Universidade Federal de Santa Catarina LASSre/UFSC). O SSPnúcleos foi planejado para fornecer sombra, recuperar a paisagem rural e prover aos produtores uma forma de complementar a renda através da multifuncionalidade dos agroecossistemas pastoris em ambiente de agricultura familiar (SCHMITT FILHO & FARLEY, 2019).

Neste sistema, a pastagem contém pequenas áreas cercadas, conhecidas como núcleos, os quais são compostos por alta diversidade vegetal de forma que se assemelham a uma pequena agrofloresta. Os núcleos com o elemento arbóreo representam, em geral, 10% da área total do pasto. No núcleo de agrofloresta as espécies nativas são priorizadas e o pasto é manejado sob sistema de Pastoreio Racional Voisin (PRV). Neste manejo agroecológico o pasto tem seu tempo de crescimento respeitado, permitindo um bom desenvolvimento radicular e manutenção de um pasto de boa qualidade por mais tempo (PINHEIRO MACHADO, 2004).

Em 2011 foi implantada a primeira propriedade piloto em São Martinho-SC. Em seguida o sistema foi implantado em outras propriedades de agricultores familiares em Santa Rosa de Lima também em Santa Catarina.

Desde então têm sido estudadas as variáveis biofísicas desse sistema. Até o momento foram identificadas melhorias de microclima (DENIZ et al., 2019), de temperatura do solo (KRETZER, 2019) e também alto acúmulo de matéria orgânica, com destaque para a melhoria da fertilidade do solo (BATTISTI et al., 2018). Além disso também foi estudada a riqueza e composição da comunidade de aves influenciadas pelos núcleos arbóreos (SIMIONI, 2019).

O sistema silvipastoril com núcleos arbóreos conduzido no sistema PRV também atua de forma positiva na agregação do solo promovendo a formação de agregados mais estáveis, com maiores valores de diâmetro médio ponderado e geométrico, comparados a agregados de floresta por exemplo (BATTISTI et al., 2020). Além dos efeitos no solo, a menor temperatura no entorno dos núcleos, que é reflexo da presença de árvores, influencia no comportamento de vacas leiteiras que preferem o ambiente com menores temperaturas (DENIZ et al., 2020).

Para melhor compreender a atuação do SSPnúcleos sobre a parte física do solo, este trabalho pretende complementar o que já se conhece sobre a dinâmica da agregação do solo com enfoque agora nas vias de formação dos agregados que existem sob o sistema silvipastoril implantado e compará-lo a outros sistemas de manejos e usos da terra.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um grande produtor de alimentos. Dentro deste cenário, agricultura familiar representa 77% dos estabelecimentos agrícolas no Brasil e produz de forma significativa o que a população brasileira consome diariamente nas refeições (IBGE, 2017). Apesar dos avanços tecnológicos que levam ao aumento na produção de alimentos ainda há impasses no que tange à conservação de recursos naturais e uso indiscriminado de agrotóxicos. Somado a isso, muitas práticas de manejo do solo consideradas inadequadas dentro de um sistema de manejo conservacionista como: revolvimento de solo, solo desprovido de cobertura e ausência de planejamento com rotação de culturas, são responsáveis pela degradação do solo e da água. Com a projeção de população crescente e aumento na demanda por alimentos é que deve se focar no desenvolvimento de novas tecnologias e melhores formas de produzir com foco na sustentabilidade do sistema de produção (EMBRAPA, 2018).

O solo, além de ser o substrato para promoção do crescimento e desenvolvimento de plantas e animais, é um elemento importante no ecossistema, pois possibilita a purificação da água, ciclagem de nutrientes, habitação de organismos e também atua como modificador da atmosfera, atuando como um grande reservatório de carbono (BRADY, 2013). Exercer essas funções em um ambiente natural ou manejado, sustentando a produtividade e mantendo a qualidade dos recursos naturais perfaz o conceito de qualidade do solo (DORAN & PARKING, 1997).

A formação do solo ocorre em função da atuação de fatores como: tempo, material de origem, relevo, clima, organismos e processos gerais (translocação, adição, remoção e transferência) (JENNY, 1994; KER et al., 2012). Sua composição é de partículas minerais, orgânicas, ar e água (COELHO et al., 2013) e a forma como as partículas unitárias do solo estão arrançadas é denominada de estrutura, a qual relaciona o volume de material sólido e espaço poroso e tem como possível componente os agregados do solo. Estes agregados desempenham as seguintes funções: promover o sequestro de carbono e nitrogênio em seu interior (BLANCO-CANQUI; LAL, 2004; CARTER, 2009); fornecer proteção, principalmente física, em forma de abrigo para comunidades microbianas (RILLIG;

MULLER; LEHMANN, 2017) e interferir na dinâmica da água, ar e crescimento de raízes de forma conjunta com os demais elementos do solo (SCHROEDER, 1984). Por fim, um solo bem drenado e com volume adequado de poros permite melhor desenvolvimento radicular afetando diretamente o crescimento e desenvolvimento das plantas (PEDROTTI & JUNIOR, 2009; COELHO et al., 2013).

Agregados do solo diferem entre si pela sua origem de formação, ou seja, conforme sua gênese. Quando a via de formação for predominantemente decorrente de processos físicos como umedecimento e secagem/congelamento e descongelamento, ou químicos, em decorrência da ação dos agentes cimentantes como matéria orgânica, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e atividade microbiana, os agregados são classificados morfológicamente como fisiogênicos. Porém, quando a atividade biológica de fauna – principalmente macrofauna – e raízes promovem a aproximação e cimentação das partículas, estes agregados são classificados morfológicamente como biogênicos (VELASQUEZ et al., 2007; BRADY, 2013; LOSS et al., 2017). A principal diferença entre estes dois tipos de agregados é facilmente evidenciada com base nas suas características visuais e morfológicas, destacando a forma, tamanho, presença de raízes, porosidade (PULLEMAN et al., 2005; PINTO et al., 2021) e arranjos e junções de subunidades (PEREIRA et al., 2021). Além das diferenças identificadas visualmente, também há indícios de maior qualidade química de agregados biogênicos como maiores teores de C e N em comparação aos fisiogênicos, os tornando bastante desejados nos diferentes sistemas de uso e manejo da terra (SILVA NETO et al., 2010; MERGEN JUNIOR et al., 2019; LOSS et al., 2014b; LOSS et al., 2017; PEREIRA et al., 2021).

Além da agregação ser afetada por fatores climáticos, práticas agrícolas e a fauna do solo (HARRIS; CHESTERS; ALLEN, 1966), questões químicas também apresentam forte influência na formação de agregados, como teor de carbono, existência de pontes iônicas, argila, carbonatos (BRONICK; LAL, 2005), presença de glomalina, que é uma proteína altamente cimentante (RILLIG et al., 2001) e a relação C:N de resíduos vegetais dos cultivos agrícolas (BLANCO-CANQUI; LAL, 2004). Por isso, visando uma boa formação de

agregados e um solo bem estruturado, é indispensável um manejo que considere a maior quantidade possível de variáveis.

O manejo varia conforme o sistema de produção que, por sua vez, possui ampla variabilidade no Brasil e no mundo: monocultura, sucessão de culturas, rotação de culturas, sistemas de integração, cada um com suas próprias características (HIRAKURI et al., 2012). Estes sistemas influenciam os fatores que podem interferir na formação de agregados do solo, seja com malefícios no caso de manejos inadequados, a exemplo do sistema de preparo convencional do solo, ou benefícios, como é o caso dos sistemas de produção conservacionistas e que incrementam a matéria orgânica no solo e não utilizam o revolvimento de toda a massa do mesmo. Dessa forma, impacta no aumento da densidade da macrofauna invertebrada, a qual é responsável pela formação de coprólitos (fezes de minhocas), considerados agregados biogênicos (DA SILVA et al., 2006). Independente da via de formação – biogênica ou fisiogênica – almeja-se um manejo que propicie a formação de agregados estáveis, que não se dispersem facilmente quando expostos a distúrbios pois todas estas estruturas podem ser afetadas de forma negativa em função de condições climáticas e do mau manejo (LAVEE; SARAH; IMESON, 1996), tendo como consequência a perda de solo e redução da fertilidade.

Dentre os diferentes sistemas de uso das terras, quando mencionamos o uso do solo com pastagem, pode-se destacar o Sistema Silvipastoril com Núcleos Arbóreos (SSPnúcleos) como promissor do ponto de vista de aumento de produção da pastagem, assim como da melhoria das condições edáficas. Neste sistema, a pastagem contém pequenas áreas cercadas, conhecidas como núcleos, os quais são compostos por alta diversidade vegetal de forma que se assemelham a uma pequena agrofloresta. No núcleo da agrofloresta, as espécies nativas são priorizadas e o pasto é conduzido sob sistema de Pastoreio Racional Voisin (PRV). Dessa forma, o ambiente edáfico é diferenciado em uma área de pastagem manejada sob PRV com núcleos arbóreos quando comparada com áreas de pastagem em sistemas silvipastoris sem núcleos arbóreos ou mesmo a área de florestas primárias (BATTISTI et al., 2018; BATTISTI et al., 2020; DENIZ et al., 2019; DENIZ et al., 2020).

Em suma, este estudo se justifica pela necessidade de compreensão e caracterização da estrutura do solo de um novo modelo de sistema silvipastoril, o SSPnúcleos, ainda carente de informações, e que pode ser uma opção sustentável para os agricultores que buscam produzir e ao mesmo tempo recuperando e/ou conservando principalmente do recurso solo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o efeito de diferentes usos e manejos do solo sobre a gênese de agregados, estabilidade e características físico-químicas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Separar, classificar e avaliar a distribuição em massa de agregados biogênicos e fisiogênicos em solo com pastagem (com e sem núcleos arbóreos), frutífera e floresta.
- Avaliar a estabilidade de agregados biogênicos e fisiogênicos por meio de índices de agregação e distribuição dos agregados por classes de diâmetros em solo com pastagem (com e sem núcleos arbóreos), frutífera e floresta.
- Avaliar a textura dos agregados biogênicos e fisiogênicos, e a densidade, glomalina e matéria orgânica leve do solo com pastagem (com e sem núcleos arbóreos), frutífera e floresta.
- Quantificar os teores de carbono e nitrogênio totais e das frações granulométricas dos agregados biogênicos e fisiogênicos do solo com pastagem (com e sem núcleos arbóreos), frutífera e floresta.

1.1.3 Hipótese

O sistema silvipastoril com núcleos arbóreos, comparado a outros manejos, propicia agregados de qualidade química e física indistinta àqueles da área de floresta em função da semelhança de ambiente vegetal e biológico.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 AGREGADOS DO SOLO

Os solos possuem partículas minerais que constituem sua estrutura, podendo apresentar espaço de vazios decorrentes principalmente da formação dos agregados. Estes agregados, formados pela aproximação e cimentação de partículas, são importantes pois estão diretamente relacionados ao armazenamento e drenagem de água, aeração e habitat para a biota do solo (OADES; WATERS, 1991; LEPSCH, 2016). Essas unidades estruturais são fortemente alteradas pelo manejo do solo (positivamente ou negativamente) e também podem sofrer modificações em função das condições climáticas servindo como indicadores ambientais da qualidade do solo (LAVEE; SARAH; IMESON, 1996). A própria relação entre plantas e organismos reflete efeitos na agregação do solo, sendo que, quanto mais biomassa vegetal for gerada maior a probabilidade de haver diversidade de organismos que tornará mais complexa essa relação (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Uma vez formados, os agregados são estabilizados através de agentes cimentantes ou ligantes, como também são conhecidos. Dentre os mais relevantes, estão a matéria orgânica, microrganismos que produzem compostos extracelulares, raízes e exsudatos de plantas. Estes componentes são capazes de estabilizar as partículas e promover na rizosfera um ambiente favorável aos microrganismos e aos fungos micorrízicos arbusculares, que liberam glomalina – composto considerado altamente cimentante (BRONICK & LAL, 2005).

Os agentes ligantes são classificados de acordo com as suas características físico-químicas (TISDALL E OADES 1982) podendo ser: transitórios, temporários ou permanentes. Os primeiros são representados, em geral, por polissacarídeos microbianos – associados às raízes – que são produzidos e decompostos de forma muito rápida. No entanto, se estiverem adsorvidos em partículas de argila dentro de agregados levam mais tempo para se decompor. Os agentes temporários são caracterizados por raízes e hifas. E os agentes persistentes são compostos húmicos, polímeros e cátions polivalentes, os quais estão relacionados com a formação de microagregados formando complexos organo-minerais com partículas de argila

através de pontes catiônicas polivalentes. O agente estabilizador do agregado afeta a estabilidade do mesmo de forma que a qualidade e a quantidade do resíduo vegetal definem a natureza dos agregados e o grau de interação com as partículas do solo. Macroagregados estáveis, por exemplo, podem possuir mais carbono derivado de raízes e matéria orgânica particulada como constatado por Blanco-Canqui e Lal (2004), o que demonstra a importância dos agentes transitórios para a estabilização dos macroagregados.

Em se tratando de estabilização de agregados, o carbono é um elemento que está diretamente relacionado. Estudos apontam que onde a deposição de carbono é maior, por exemplo nas camadas mais superficiais do solo ou em sistemas de manejo conservacionistas, os parâmetros que representam a estabilidade dos agregados como o diâmetro médio geométrico (DMG) e o diâmetro médio ponderado (DMP) também são maiores e/ou mais estáveis (CASTRO FILHO; MUZILLI; PODANOSCHI, 1998; ROZANE et al., 2010; TORRES et al., 2015; LOSS et al., 2015). Vale ressaltar que esta deposição de carbono depende, além do sistema de manejo utilizado (produção e qualidade da matéria seca), do tipo e quantidade de resíduo orgânico utilizado, bem como a proporção de carbono presente neste material, sendo que, quanto mais carbono presente na massa seca dos materiais utilizados como adubos, possivelmente maior será a atividade biológica e desenvolvimento do sistema radicular, causando maior proporção de agregados formados pela ação biológica (MELO et al., 2019; MERGEN JUNIOR et al., 2019; LOSS et al., 2017).

Além de promover o estoque de carbono no solo, uma vez que protege a matéria orgânica dentro de suas estruturas, os agregados atuam como incubadoras de comunidades microbianas, o que se torna um assunto importante quando se trata da evolução das comunidades microbianas do solo. Neste caso, o tempo de incubação das comunidades está intimamente ligado à estabilidade do agregado. A desintegração dos agregados põe fim à incubação e essas comunidades microbianas estão prontas para interagirem com outras comunidades presentes no solo (RILLIG; MULLER; LEHMANN, 2017).

A biomassa microbiana é de fato um fator de muita influência na formação de agregados (CHESTERS; ATTOE; ALLEN, 1957). O manejo do solo pode afetar de forma positiva ou negativa a população microbiana dos agregados, sendo que manejos

conservacionistas promovem a proteção de fungos micorrízicos arbusculares dentro de agregados (LU; LU; LIAO, 2018). Melloni, Melloni e Vieira (2013) compararam os usos do solo com pastagem, floresta de araucária, florestamento de eucalipto e cultivos convencionais de cenoura e abóbora e verificaram que onde houve cultivo convencional a atividade microbiana nos agregados foi menor. As maiores estabilidades de agregados foram encontradas em área de florestamento de eucalipto, que também apresentou maior biomassa microbiana. Os autores também observaram que, em todos os tratamentos, nos agregados de menor tamanho, houve menor presença de micélio de fungos e biomassa microbiana. Rillig et al., (2010) realizaram o primeiro estudo evidenciando a hidrofobicidade das hifas fúngicas de fungos micorrízicos arbusculares e mostraram que o micélio destes fungos contribui para manter a estabilidade de agregados. Além disso, a temperatura também é um fator que altera ou modifica a estabilidade dos agregados por influenciar a atividade microbiana, sendo que há melhores compostos cimentantes sendo formados em condições de menores temperaturas e, assim, garantindo uma estabilidade mais duradoura (HARRIS; CHESTERS; ALLEN, 1966).

2.2 VIAS DE FORMAÇÃO DE AGREGADOS

Os agregados do solo podem ser classificados em função de suas vias de formação em biogênicos ou fisiogênicos. Os biogênicos são aqueles agregados formados devido à ação dos organismos do solo e o sistema radicular de plantas. Os agregados fisiogênicos são aqueles formados pela ação de processos físicos como, por exemplo o processo de umedecimento e secagem, ou processos químicos, como atuação dos agentes cimentantes (PULLEMAN et al., 2005; VELASQUEZ et al., 2007; BATISTA et al., 2013; LOSS et al., 2014b). Existem trabalhos que consideram ainda a classe de agregados classificados como intermediários, entre biogênicos e fisiogênicos, definidos como agregados de morfologia indefinida, que podem se originar de agregados biogênicos que perderam suas características ao longo do tempo, ou derivaram de agregados fisiogênicos que se ligaram a coprólitos que são fezes de minhocas (BATISTA et al., 2013; FERREIRA et al., 2020).

A distribuição de agregados (biogênicos/fisiogênicos) em termos de massa em um solo varia com o manejo e a cobertura vegetal do mesmo. Este padrão foi fortemente evidenciado

no estudo de Ferreira et al. (2020), no qual os autores quantificaram a proporção de agregados conforme a sua via de formação em áreas de floresta e áreas de sistema de plantio direto (SPD) com diferentes anos de implantação (7, 14 e 23 anos). A área de floresta apresentou maior proporção de agregados biogênicos em torno de 51 a 53% da massa total de agregados comparado a proporção de agregados fisiogênicos e intermediários, respectivamente. No SPD predominaram os agregados fisiogênicos e intermediários independente do tempo de implantação.

A proporção de agregados biogênicos e fisiogênicos em um solo também pode variar de acordo com as características do tipo de adubo utilizado. Ao comparar a aplicação sucessiva de doses de cama de aviário e dejetos líquidos de suínos com um tratamento sem adubo, sob SPD durante nove anos, Melo et al., (2019) observaram que os agregados fisiogênicos tiveram maior proporção no tratamento controle (58%), enquanto nos tratamentos com adubação, a maior proporção foi de agregados biogênicos. Ademais, os autores também identificaram que a cama de aviário proporcionou maior desenvolvimento de estruturas biogênicas (86% a 78%) que o dejetos líquidos suíno (65% a 52%) em comparação às estruturas fisiogênicas formadas pelos dois tipos de adubos utilizados. Isso demonstra que a adubação favorece a formação de agregados biogênicos do solo e que o tipo de composto é também um fator importante para a gênese de agregados, com destaque para a biogênica. Ao avaliar um sistema de cultivo com adubação e outro sem adubação, pode haver o favorecimento da formação de agregados biogênicos devido ao melhor crescimento e desenvolvimento radicular das plantas que impulsiona a biologia do solo e, conseqüentemente, promove a maior formação de estruturas biogênicas, além dos próprios benefícios das raízes para agregação do solo como um todo (DE LIMA et al., 2020).

Quando a atividade de organismos do solo é afetada, o processo de formação de agregados biogênicos, os quais são mais estáveis em água, é comprometido (SILVA NETO et al., 2010). Conseqüentemente, podem haver perdas de solo e nutrientes devido ao maior processo erosivo (BRADY, 2013). Percebe-se por fim que a característica dos agregados não depende apenas de um fator isolado, sendo o tipo de adubação e o tipo do uso dos solos cruciais para determinar os atributos dos agregados.

2.3 DIFERENÇAS FÍSICAS E QUÍMICAS DE AGREGADOS BIOGÊNICOS E FISIOGÊNICOS

As duas vias principais de formação de agregados (biogênica e fisiogênica) apresentam diferentes características físicas, químicas e morfológicas (BATISTA et al., 2013; MERGEN JUNIOR et al., 2019; LOSS et al., 2017; PEREIRA et al., 2021). As diferenças morfológicas entre as vias de formação de agregados são ilustradas na Figura 1. A forma fisiogênica é mais angular e subangular ou prismática, enquanto que os agregados biogênicos são mais arredondados e há indícios de passagem de raízes e trato intestinal de organismos, como das minhocas.

Figura 1: Morfologia dos agregados. Formas biogênicas (esquerda) e fisiogênica (direita) ambas avaliadas neste estudo.



Fonte: Autora (2021)

A formação de agregados biogênicos pode levar meses para ocorrer (BLANKINSHIP et al., 2016). Estas estruturas possuem bordas arredondadas e se apresentam com maiores poros e presença de microestruturas esféricas (BLANKINSHIP et al., 2016; MELO et al., 2019; FERREIRA et al., 2020). Logo, a presença de maior proporção de agregados fisiogênicos, que apresentam poros menores, pode favorecer a compactação do solo (FERREIRA et al., 2020; MELO et al., 2019). Quatro categorias de agregados biogênicos são consideradas por Lavelle et al. (2020), e são eles: 1) macroagregados fúngicos que são um

emaranhado de hifas ligadas aos detritos orgânicos; 2) coprólitos; 3) agregados derivados da ação de formigas e cupins; e 4) agregados que estão aderidos às raízes com agregação induzida dentre elas, pela atividade biológica estimulada pela ação radicular.

Os agregados biogênicos dependem da vida que habita o solo. Solos com maior diversidade biológica de plantas e animais influenciam a composição microbiológica do seu entorno e promovem a maior formação de agregados biogênicos. A exemplo disso, em solos de floresta há uma intensa ciclagem de nutrientes e conseqüente estímulo à atividade microbiana em função da constante deposição de matéria orgânica fornecida pela cobertura vegetal (HIGUCHI & HIGUCHI, 2012; FERREIRA et al., 2020). Dessa forma, tanto agregados biogênicos quanto fisiogênicos de área de floresta tendem a apresentar maior teor de carbono que em áreas de cultivos mesmo com manejo SPD (FERREIRA et al., 2020).

Agregados fisiogênicos apresentam morfologia prismática ou plana com bordas angulares irregulares ou arestas (FERREIRA et al., 2020; PINTO et al., 2021). Em condição de solo estéril, ou seja, com pouca ou quase nenhuma biomassa microbiana e com umidade manipulada em laboratório, esses agregados apresentaram morfologia semelhante a pilhas de silte (BLANKINSHIP et al., 2016). Também apresentam bordas bem definidas e aparente cimentação (MELO et al., 2019). A ligação que prevalece em agregados fisiogênicos derivados de umedecimento e secagem são ligações orgânicas e inorgânicas e forças de Van der Waals entre partículas (HU et al., 2015).

Agregados fisiogênicos podem apresentar menores valores de diâmetro médio ponderado e diâmetro médio geométrico que agregados biogênicos de solos com diferentes coberturas vegetais (SILVA NETO et al., 2016). Tanto é que agregados biogênicos podem apresentar maior estabilidade em água do que agregados fisiogênicos (SILVA NETO et al., 2010). Além disso, Silva Neto et al., (2016) e Melo et al., (2019) constataram que agregados biogênicos formam poros maiores do que agregados fisiogênicos, sendo que no trabalho de Melo et al., (2019) estes resultados ocorreram independente do tratamento avaliado (tipo ou dose de esterco).

Quimicamente, os agregados biogênicos podem apresentar maiores teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) (PEREIRA et al., 2021; MERGEN JUNIOR et al.,

2019; LOSS et al., 2014b), maiores teores de K e P (SILVA NETO et al., 2016) e também mais Ca (LOSS et al., 2014b). Este tipo de agregado também tem maiores quantidades de carbono das frações húmicas (ácidos fúlvicos e ácidos húmicos) (VENTURA et al., 2018; FERREIRA et al., 2020) e das frações granulométricas da matéria orgânica (LOSS et al., 2014b;). As maiores quantias de P e K (SILVA NETO et al., 2016) podem estar relacionadas com os maiores valores de pH encontrados em coprólitos, os quais apresentam maior disponibilidade de nutrientes e menores teores de alumínio e acidez trocável (SILVA NETO et al., 2010).

Os coprólitos são estruturas compactas com alta estabilidade estrutural e baixa taxa de mineralização, o que indica proteção da matéria orgânica por um período maior de tempo (HEDDE et al., 2005). Eles podem apresentar maior conteúdo de cálcio na sua estrutura, em função das glândulas calcíferas presentes no esôfago das minhocas, que liberam carbonato de cálcio para reduzir a acidez do material ingerido. Isto contribui para a maior presença desse elemento em agregados biogênicos (LOSS et al., 2014b). Além disso, são agregados de excelente característica química e podem apresentar mais nutrientes e matéria orgânica do que o próprio solo em que se encontra ao redor (HEDDE et al., 2005). Em um estudo recente, foi avaliado o efeito de espécies de minhocas em solos subtropicais da China com relação à acidificação do solo e as frações de alumínio. A conclusão do estudo foi que as minhocas podem reduzir a toxidez do Al e aumentar o pH do solo interferindo na liberação de cátions (WU et al., 2020).

Os agregados biogênicos são diferentes entre si e há diferença entre agregados biogênicos próximos às raízes e formados por invertebrados, sendo que estes últimos podem apresentar maiores teores de NO_3 e NH_4 , estes resultados podem estar relacionados com a atividade microbiana da rizosfera (DOMINGUEZ-HAYDAR et al., 2020). A maior diversidade vegetal favorece a formação de agregados que são enriquecidos em carbono, e além de liberarem exsudatos, as raízes que permanecem dentro dos agregados podem ser colonizadas por fungos micorrízicos o que pode refletir numa característica específica para este tipo de agregado (SCHOMBURG et al., 2018). Estes autores identificaram que minhocas e plantas (quando compartilham o mesmo espaço) produzem agregados com maiores teores

de carbono do que quando avaliados de forma isolada, ou seja, quando não interagem no mesmo espaço. Os tratamentos deste estudo consideraram agregados derivados de potes com minhocas, potes com plantas, e potes com plantas e minhocas. De forma geral, os coprólitos das minhocas têm maior estabilidade física e maiores proporções de argila, silte e areia fina quando comparados a agregados fisiogênicos (BORTOLON et al., 2017).

2.4 USOS DO SOLO E A INFLUÊNCIA NA FORMAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS

O estudo da gênese dos agregados permite identificar a atuação dos diferentes agentes envolvidos na mudança da estrutura do solo. Portanto, avaliar as vias de formação dos agregados em diferentes usos do solo e coberturas vegetais permite identificar a influência dos agentes biológicos, raízes e fauna do solo na melhoria das propriedades edáficas (PEREIRA et al., (2021). A seguir serão exploradas algumas características dos sistemas de uso e manejo estudados nesta pesquisa, quais são: floresta, frutífera consorciada com plantas de cobertura na entrelinha, pastagem sem árvores manejada em PRV e sistema silvipastoril com núcleos arbóreos.

2.4.1 Florestas

É muito comum que os solos sob coberturas vegetais de florestas sejam usados como tratamento referência nos estudos que comparam as modificações ou alterações nas propriedades edáficas decorrentes da substituição da floresta por outra cobertura vegetal ou sistema de manejo do solo. Por ser um sistema sem interferência antrópica as florestas, principalmente as primárias, normalmente apresentam ótimas condições de biodiversidade e por isso tendem a apresentar atributos físicos, químicos e biológicos de ótima qualidade (BALIN et al., 2017; LINTEMANI et al., 2020).

Florestas têm a capacidade de sequestrar carbono através de sua biomassa e uma vez incorporado pela vegetação, este elemento pode chegar ao perfil do solo. Essa dinâmica pode refletir na maior proporção de macroagregados estáveis encontrados em profundidades de até

40 cm quando comparado com microagregados (SILVA et al., 2018) apresentando boa agregação nos primeiros 5 cm de solo e com destaque para maior proporção de agregados biogênicos (NETO et al., 2018; FERREIRA et al., 2020). Apesar disso, nem toda floresta tem a mesma capacidade de estocar carbono, isso depende muito das espécies vegetais presentes neste cenário (DEL GALDO et al., 2003) e também do estágio de desenvolvimento desta floresta (FERNANDES et al., 2017).

Correlação positiva entre vegetação nativa e estabilidade de agregados foi encontrada por Silva Neto; Pereira & Fernandes, (2012) quando compararam agregados de solo sob floresta com pastagem. Estas áreas com vegetação nativa também apresentam, em geral, maiores proporções de agregados biogênicos do que solos manejados, mesmo em sistemas conservacionistas (LOSS et al., 2014b; DE LIMA et al., 2020; PEREIRA et al., 2021). Porém, ao alterar o uso da terra, partindo de uma condição de área de floresta primária para áreas de lavouras, a tendência ao passar dos anos é que haja o aumento de agregados fisiogênicos em detrimento dos agregados biogênicos (FERREIRA et al., 2020). Além disso, a conversão do uso da terra altera a composição de espécies de microrganismos, como a comunidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), os quais são responsáveis pela produção de glomalina, uma proteína altamente cimentante (SILVA et al., 2016). Logo, além de favorecer a formação de agregados, especialmente macroagregados, áreas de florestas nativas conferem uma boa estabilidade dos mesmos devido ao seu grande acúmulo de biomassa microbiana (SILVA et al., 2018) e matéria orgânica particulada (PINTO et al., 2021).

No que se trata da macrofauna invertebrada, florestas mais jovens tendem a apresentar maior abundância e biomassa de minhocas, o que poderia refletir na formação de agregados biogênicos (RÖMBKE; SCHMIDT; HÖFER, 2009). E apesar da macrofauna ser afetada pela sazonalidade (chuva/seca) (FERREIRA et al., 2019), na floresta, o microclima mais estável favorece a biodiversidade garantindo a boa formação de agregados provenientes da via biogênica (FERREIRA et al., 2020).

2.4.2 Frutíferas consorciadas com plantas de cobertura na entrelinha

O Brasil figura entre os maiores produtores de frutas no mundo. Com rendimento superior a 40 milhões de toneladas por ano, a produção de frutas ocupa mais de 2 milhões de hectares (ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI&FRUTI, 2021). A fruticultura é uma alternativa para a agricultura familiar e, quando bem manejada, pode conferir um bom retorno financeiro, sobressaindo muitas vezes a atividades como pecuária leiteira ou culturas anuais (PETINARI, TERESO & BERGAMASCO 2008; SABIÃO et al., 2021).

A busca por novas tecnologias e modos de produção sustentáveis têm sido um desafio para hortifrutigranjeiros que visam aumento de produtividade. O uso de plantas de cobertura na entrelinha de pomares, por exemplo, tem sido adotado com a finalidade de reduzir a infestação de plantas espontâneas (MOROTA et al., 2020) e melhorar atributos químicos, físicos e biológicos do solo (LUCENA; CARVALHO; CHAVIER, 2017). Por si só, um mix de cobertura com nabo forrageiro e ervilhaca favorece a via biogênica de formação de agregados devido à grande exploração de solo pelo sistema radicular das plantas e grande produção de exsudatos que favorece a atividade biológica (DE LIMA et al., 2020).

Com relação à avaliação da agregação em área de frutífera consorciada com plantas de cobertura, Loss et al. (2009) inferiram que o aumento de DMP e DMG em área de maracujá (*Passiflora edulis*) intercalado com a leguminosa *Desmodium* sp., pode ter sido impulsionada pela presença da forrageira, que acumula carbono no solo. A melhora nos índices de estabilidade de agregados pode também estar relacionado com o aumento de microrganismos simbioses e aumento na ciclagem de nutrientes neste tipo de consórcio (ANDRADE et al., 2002). Dentre os poucos trabalhos encontrados, que avaliam diferentes coberturas de solo na entrelinha da amoreira, há o trabalho de Machado (2012). A autora não avaliou a estabilidade de agregados do solo sob este tipo de sistema, porém, observou que a cobertura do solo promoveu melhora na condição biológica do mesmo. O que poderia vir a interferir na formação de agregados. Além disso, as amoreiras (*Morus alba*), que fazem parte do sistema estudado no presente trabalho e no trabalho de Machado (2012), possuem sistema radicular perene e ramos bianuais. Sua raiz principal pode alcançar até 1,5 m de profundidade e emitir inúmeras raízes secundárias, e destas, milhares de raízes finas (BRUZZESE, 1998). Há,

portanto, grande diversidade de raízes que podem promover a agregação e aumentar a diversidade de espécies microbianas dividindo o mesmo local de forma a proteger o solo e estimular a biologia deste ambiente que vive sob intensa deposição de matéria orgânica. Mesmo quando produzidas em viveiros, estas frutíferas apresentam uma incidência média de micorrizas arbusculares (FMAs), que podem interferir na formação de agregados (CARNEIRO et al., 1998).

2.4.3 Pastagens

A pecuária familiar brasileira apresenta-se das mais variadas formas e tamanhos. E, muitas vezes, o desenvolvimento desta atividade está mais atrelado a uma imposição do que algo planejado. Essa imposição ocorre, por exemplo, quando uma área de pastagem é herdada e o produtor não vê outra forma de usá-la senão para a criação de animais (TEIXEIRA & MONTEIRO, 2020). Ademais, o não planejamento, somado ao baixo nível tecnológico de muitos produtores, que se resume ao básico, deixa a desejar em questões de cuidado com o solo, bem-estar animal e outros assuntos, o que torna a assistência técnica nestas propriedades uma necessidade (REZENDE et al., 2021; RODRIGUES DE FREITAS et al., 2020). Portanto, desenvolvimento de tecnologias acessíveis e sustentáveis com foco no manejo de pastagem e animais devem ser estudadas e promovidas, a fim de melhorar a pecuária familiar para que se torne uma opção mais atrativa evitando principalmente o abandono da atividade.

Solos com cobertura vegetal de pastagens, em geral, apresentam boa formação de agregados, com foco em macroagregados pela alta densidade de raízes que contribuem para a formação de agregados mais estáveis e de maior tamanho (SALTON et al, 2008), podendo promover uma agregação semelhante ou até mesmo maior que a encontrada em áreas de solo sob florestas (NETO et al., 2018; BATTISTI et al., 2020). Isso porque, a grande massa de raízes libera exsudatos e estimula a atividade microbiana que vai atuar na estabilização dos agregados (COSTA et al., 2012).

Apesar de formar muitos agregados em função de seu sistema radicular denso, fasciculado e diversificado, nem sempre a pastagem é o sistema que mais aporta carbono ao solo, indicando que outros manejos como vegetação nativa, florestas e sistema de plantio direto podem promover maiores estoques de carbono (COSTA et al., 2012; DE KONING et al., 2003). Mas este é um assunto que há bastante divergência na literatura, com diversos resultados contrastantes. Por exemplo, estudos mostrando sistemas com pastagem produtiva apresentando valor de carbono orgânico total (COT) igual ao de uma pastagem não produtiva (COSTA et al., 2009); pastagem refletindo em alto valor de macro agregação, porém com aporte de carbono menor que áreas de sistema de plantio direto e vegetação nativa de Cerrado, apesar de apresentar alta agregação tanto quanto o próprio Cerrado (COSTA et al., 2012). Também existem os estudos que apontam que o acúmulo de carbono sob a pastagem é maior que em outros sistemas de cultivos e uso do solo, como demonstrado por Tonucci et al., (2011). Todos esses resultados dependem muito do histórico de uso e manejo das áreas avaliadas.

No Brasil, dados apontam que as pastagens não estão sendo bem manejadas. Em 2018, conforme o Atlas Digital das Pastagens Brasileiras desenvolvido pelo Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG) vinculado ao Instituto de Estudos Socioambientais (IESA) da Universidade Federal de Goiás (UFG), dos quase 169 milhões de hectares de pastagens brasileiras, apenas 44% não estariam degradadas. Enquanto que 33% estaria em condição de degradação leve a moderada e 24% em condição de degradação severa, o que corresponde a mais de 40 milhões de hectares. Boa parte desta degradação provém do mau manejo das pastagens.

O mau uso da terra somado ao desmatamento para criação de animais como ocorre em muitos casos, causa um impacto negativo para atividade pecuária. Ao desmatar a floresta com a finalidade de uso para a pastagem ocorrem mais emissões de CO₂ além de perda de biodiversidade, degradação do solo e perda da capacidade de retenção de água do solo (FAO, 2007). O manejo de animais na pecuária, com pastejo contínuo após anos, pode reduzir os nutrientes como fósforo, potássio, cálcio e magnésio pela metade ou mais afetando algumas propriedades em até 40 cm de profundidade e aumentando também a compactação do solo

(LANGE et al., 2019). Isso leva a pastagem a diferentes níveis de degradação e quanto mais degradada a pastagem menor a fertilidade do solo que está sob ela (RODRIGUES et al., 2011).

Dentre os fatores que podem contribuir para a degradação estão o pastejo intenso, má formação do pasto, escolha errada da forrageira e uso de práticas não conservacionistas (RODRIGUES et al., 2011). A elevada pressão de pastejo pode prejudicar os atributos físicos do solo, como por exemplo a diminuição de porosidade e aumento da densidade do solo (BERTOL et al., 1998). Além da compactação através do pisoteio (CERVELATI et al., 2011), também há redução da biomassa microbiana, afetando de forma negativa a microbiota na região rizosférica (CHÁVEZ et al., 2011), aumentando a temperatura e reduzindo a umidade do solo (SILVA, 2017), sendo que estes efeitos podem afetar diretamente a formação de agregados e a estrutura do solo.

Dentre os sistemas de uso do solo com pastagens, destacamos um sistema com potencial de melhorar a produtividade das pastagens e dos atributos edáficos: sistema silvipastoril conduzidos em Pastoreio Racional Vosin com ou sem núcleos arbóreos.

2.4.4 Sistemas Silvipastoris

Na tentativa de se recuperar a qualidade estrutural do solo em áreas com pastagens degradadas, despontam os sistemas agroflorestais como uma excelente alternativa de manejo. O sistema silvipastoril integra árvores, animais e culturas de interesse agropecuário, de culturas anuais a pastagens (VENTURIN & GONÇALVES, 2014) e isso pode aumentar o volume total de poros, agregação do solo e teores de carbono das frações húmicas e granulométricas da matéria orgânica (LOSS et al., 2014a). Maia et al. (2006) avaliaram impactos da agrofloresta (Agrossilvipastoril e Silvipastoril) e sistema convencional sobre a qualidade de solo no semiárido cearense, e dentre as variáveis avaliadas, destacaram a estabilidade de agregados. Os autores observaram que os macroagregados estáveis apresentaram maior percentual de ocorrência no tratamento silvipastoril, sendo inclusive

maior que o tratamento agrossilvipastoril, o qual perdeu a estrutura original após anos de cultivo.

A arborização do pasto, é uma prática que vem estabelecendo um novo paradigma na agropecuária brasileira (PORFÍRIO-DA-SILVA et al., 2009). Esses sistemas apresentam grande biodiversidade e alta interação ecológica, protegem o solo e promovem o conforto térmico para os animais (DENIZ et al., 2019). A maior distribuição e densidade de raízes das árvores em profundidade no perfil do solo permite que o carbono seja mais acumulado neste sistema do que em uma pastagem desprovida de árvores (HOWLETT et al., 2011; BATTISTI et al., 2018). Dessa forma, ao incluir o componente arbóreo na pastagem seja por sistema silvipastoril ou sistemas agroflorestais (SAFs), há contribuição para o sequestro de carbono (SILVA et al., 2018) e impacto na qualidade física do solo com consequente diminuição da erosão e redução do escoamento de água pela superfície (ALEGRE & CASSEL, 1996; JUNQUEIRA et al., 2013).

No que tange à qualidade biológica e química, o grande aporte de carbono no solo proveniente da biomassa de raízes e outros tecidos vegetais serve de substrato para a vida do solo resultando em prol da microbiota (PEZARICO et al., 2013). Webster et al., (2019) encontraram presença expressiva de minhocas no tratamento silvipastoril, relacionando esta abundância em função da quantidade e qualidade de matéria orgânica provida pontualmente pelo sistema. Estes mesmos autores, estabeleceram uma correlação positiva entre a quantidade de minhocas, a estabilidade de agregados e a capacidade de retenção de água no solo. Essas mudanças na qualidade do solo podem ser observadas após dois anos da arborização de um pasto como constatado por Webster et al. (2019).

Apesar de todos esses benefícios, nem todo sistema que combina árvores, cultivos e animais refletem como o esperado. Quando o componente arbóreo se trata de eucalipto em linhas, apesar de haver um depósito razoável de matéria orgânica no perfil do solo abaixo desta linha, com o passar dos anos a fertilidade abaixo deste plantio acaba reduzindo em função da grande absorção de nutrientes. Além disso, o design de um sistema em linhas força o pisoteio de animais sempre em locais sombreados causando compactação do solo com reflexo na menor estabilidade de agregados perto da linha de árvores. Pode-se dizer que o solo

neste sistema não é uniforme em questão de distribuição de nutrientes (BORGES; CALONEGO; ROSOLEM, 2019). Além dessa desuniformidade, algumas espécies arbustivas que poderiam crescer na paisagem promovendo aumento da biodiversidade ficam comprometidas, como é o caso do mirtilo que desapareceu em sistema silvipastoril e pastagem sem árvores, reflexo do pisoteio animal (OREFICE et al., 2017).

Todavia, destacamos um novo sistema silvipastoril sendo denominado de Sistema Silvipastoril com Núcleos Arbóreos (SSPnúcleos), que apresenta vários benefícios, tanto do ponto de vista dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, quanto do aumento de produção da pastagem, além de bem-estar aos animais (BATTISTI et al 2018; DENIZ et al., 2019; KRETZER, 2019).

2.4.4.1 Sistema Silvipastoril com Núcleos Arbóreos

O sistema silvipastoril com núcleos arbóreos (SSPnúcleos) integra ao pasto ilhas de alta diversidade (25m², ou, 10% da área do pasto), devidamente cercadas e compostas por plantas de cinco grupos funcionais distintos variando de gramíneas e leguminosas herbáceas à frutíferas arbóreas (SCHMITT FILHO et al., 2016). Esses núcleos se caracterizam como agroflorestas sucessionais (SAFs), apresentando alto nível de heterogeneidade agroecológica, com inserção de cultivos num mesmo espaço e em um mesmo tempo (SANTOS, 2007). Além disso, o pasto é manejado em PRV, onde o pasto é dividido em piquetes, com controle de permanência dos animais e controle do tempo de repouso do pasto após a saída dos mesmos, para que o pasto se recupere de acordo com sua fisiologia (PINHEIRO MACHADO, 2004).

Battisti et al., (2018) avaliaram os atributos químicos do solo em pastagem sob PRV em sistema silvipastoril com e sem núcleos arbóreos e encontraram maiores teores de carbono orgânico total e nitrogênio total do solo nas pastagens com núcleos arbóreos, após cinco anos de implantação do sistema. Em outro estudo nesta mesma área, os mesmos autores verificaram que manejos agroecológicos como o SSPnúcleos promovem agregação do solo de forma mais eficiente que floresta secundária e também apresentam maiores índices de agregação que um sistema silvipastoril sem núcleos arbóreos. Além disso, a sombra

promovida pelos núcleos também alterou a umidade relativa do ar, melhorando o conforto térmico para os animais (DENIZ et al., 2019). Diferente de outros sistemas silvipastoris o SSPnúcleos fornece uma sombra que não é fixa, vantagem obtida pelo seu design. Desta forma o pisoteio dos animais não é sempre no mesmo local, o que pode vir a afetar a distribuição dos agregados e densidade do solo. Kretzer (2019) também encontrou para SSPnúcleos uma menor temperatura no solo (média anual de 25,95°C) enquanto a temperatura do solo de pastagem sem árvores foi 26,81°C. Alguns estudos sugerem que há uma forte influência da temperatura e umidade na formação de agregados do solo, principalmente no que se refere à influência destes fatores na atividade das minhocas (KANEDA et al., 2016). Como já mencionado, minhocas são grandes formadoras de agregados biogênicos e sua maior atividade ocorre em temperatura aproximada de 25°C, e em temperaturas acima deste valor, a atividade decai e a formação de agregados também (KANEDA et al., 2016; DANIEL, 1991). Logo, uma das coisas que pode ser favorecida no solo do SSPnúcleos, em função do melhor ambiente térmico, é o aumento da população de minhocas (JUNQUEIRA et al., 2013) e o aumento da biomassa microbiana (SILVA; NETO & KUSDRA, 2014), o que poderá refletir na formação de agregados biogênicos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no município de Santa Rosa de Lima (28°02'21"S, 49°07'40" WO), região sudeste do estado de Santa Catarina. A pesquisa foi conduzida em uma propriedade da agricultura familiar (Pousada Encanto Verde) (Figura 2) integrante da Associação dos Agricultores Ecológicos das Encostas da Serra Geral, AGRECO (<http://www.agreco.com.br/>). Com características de clima tropical temperado e temperatura média de 19,2 °C, a cidade encontra-se a 240 m de altitude (CLIMATE-DATA, 2019). A vegetação original é a Floresta Ombrófila Mista e o relevo varia de ondulado a forte ondulado (UBERTI, 2005). O solo na área de estudo foi classificado como Cambissolo Háplico que apresenta perfis medianamente profundos a profundos, cores brunadas, e neste caso de estudo em posição de relevo ondulado a forte ondulado (EMBRAPA, 2018).

Figura 2: Imagem de satélite da propriedade Encanto Verde, estudada em Santa Rosa de Lima – SC. Dentro da área destacada em amarelo encontram-se as localizações das áreas avaliadas. PA: pastagem; FR: frutífera; SSPnúcleos: sistema silvipastoril com núcleos arbóreos e FL: floresta.



Fonte: Google Earth (2021)

3.2 HISTÓRICO E DESCRIÇÃO DAS ÁREAS AVALIADAS

Historicamente, em todo o território da propriedade, que possui 11 hectares, foi cultivado fumo (*Nicotiana tabacum*) e mandioca (*Manihot esculenta*) até mais ou menos 1995, configurando um solo com intenso revolvimento, uso de agroquímicos e degradação severa. Após isso, o solo ficou em pousio por aproximadamente 10 anos. Em 2005, a propriedade foi vendida aos proprietários atuais, os quais decidiram usar o terreno para uso agrícola diversificando e adotando práticas agroecológicas com cultivos de frutíferas, agrofloresta e pastagens além de incluir nas suas atividades o agroturismo.

Antes de serem instalados os sistemas de uso do solo avaliados neste estudo, foi passado subsolador onde hoje se localizam as culturas de amora e pastagem sem núcleos arbóreos e realizada uma adubação verde com mucuna (*Mucuna pruriens*) e crotalária (*Crotalaria juncea*) na área onde hoje é pasto a fim de recuperar o solo. Na área do pomar, foram plantadas as mudas frutíferas e após, por alguns anos foram semeadas ervilhaca, aveia e azevém. Com o passar do tempo, a ervilhaca se estabeleceu e passou a germinar naturalmente.

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram definidos quatro sistemas de usos do solo com diferentes coberturas vegetais. Todos eles encontravam-se dispostos na mesma condição de relevo e solo, ou seja, estão situados em terço superior de paisagem e relevo forte ondulado, conforme evidenciado na Figura 3.

Tratamento 1 (FR): Plantio de amora (*Morus alba*) consorciado com ervilhaca (*Vicia cracca*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*) na entrelinha. Teve sua implantação em 2014 em uma área de 1000 m². Durante o inverno é feita a poda e uso de calda sulfocálcica quando necessário. Anteriormente à amora, teve 10 anos com cultivo de uva consorciada com hortaliças. Eram plantadas alface, repolho, couve-flor, brócolis, rúcula, cebolinha, salsinha e outras, em plantio direto por um período de 5 anos. Depois entrou o cultivo de feijão e ervilhaca na mesma entrelinha, que apresenta espaçamento de 2 metros. A amora foi sendo implantada entre as uvas e no momento da coleta de amostras havia somente o cultivo de amoras. A única correção desse solo foi no início da implantação da uva com calcário e fosfato natural.

Tratamento 2 (PA): Pastagem sem árvores (a pleno sol). Implantada em 2009, possui uma área de 10.000 m² é composta por *Axonopus catharinensis* (missioneira gigante) e manejada com Pastoreio Racional Voisin (PRV). Nesta área, antes da pastagem, durante dois anos, foi realizado cultivo de cana, milho e arroz, sempre seguindo vertentes agroecológicas. No início foi priorizado o desenvolvimento de uma pastagem com *Axonopus catharinensis* (missioneira gigante) de qualidade com controle de pisoteio animal e também foram usados calcário e fosfato de rocha. O calcário foi aplicado na razão de 6 toneladas por hectare e o fosfato natural na proporção de 200 kg por hectare. A única deposição de nutrientes que ocorre atualmente é através do esterco dos animais que usam o pasto. Inicialmente havia presença de ovelhas, com aproximadamente 20 animais, por quase 5 anos. Depois, em torno de 20 cabras por mais uns 3 anos. Ao final, foram retiradas as cabras e adquirida uma vaca e bezerro, que passaram a ocupar a pastagem. No período mais recente, com a aquisição da vaca, há sempre sobra de pastagem que é roçada e deixada na superfície para se decompor.

Tratamento 3 (SSPNúcleos): Sistema Silvipastoril com núcleos arbóreos inseridos na pastagem de missioneira gigante. Este sistema foi implantado em 2012 em uma área de 5000 m². Os núcleos arbóreos estão equidistantes dentro dos piquetes e cada um possui 25 m², cuja área somada representa 10% da área de cada piquete. Os núcleos são compostos por 20 plantas de quatro grupos funcionais, incluindo árvores nativas e bananeiras formando uma pequena agrofloresta sucessional. Entre as espécies encontram-se bracatingas (*Mimosa scabrella*), tucaneiras (*Citharexylum myrianthum*), ingás (*Inga marginata*), canelas amarelas (*Nectandra lanceolata*), angicos vermelhos (*Anadenanthera macrocarpa*), palmeira juçara (*Euterpe edules*) e bananeiras (*Musa paradisiaca*). Foi feita adubação orgânica com esterco de peru, utilizando-se aproximadamente 100 gramas por cova para o plantio das mudas, e atualmente só se adiciona algum composto orgânico no caso de reposição de novas mudas. Além disso é feita a limpeza ao redor das plantas até o estabelecimento das mesmas. Há uma área de influência ao redor dos núcleos chamada de entorno do núcleo. Trata-se de uma área limitada em 2,5 metros a partir da cerca do núcleo que ocorre nos quatro lados do núcleo. É uma área de pisoteio animal mais intenso em função das condições de ambiência, principalmente sombra. Portanto, a área de estudo do SSPNúcleos é representada pela média dos resultados de dentro do núcleo somado ao seu entorno. Ao contrário dos outros

tratamentos, como o maquinário não alcançava esta área, não houve revolvimento inicial de solo.

Tratamento 4 (FL): Floresta nativa (FL). Trata-se de uma área remanescente de floresta nativa contendo 7 ha. A vegetação é de Floresta Atlântica Ombrófila Densa Primária. Esta floresta é composta predominantemente por árvores como *Alsophila setosa*, *Cyathea phalerata*, *Sloanea spp.*, *Ocotea spp.*, *Cinnamomum spp.*, entre outras. Este tratamento representa a condição original do solo de todas as áreas (testemunha).

Figura 3: Montagem fotográfica com a imagem dos tratamentos avaliados em Santa Rosa de Lima, SC. FR: Frutífera; SSPnúcleos: Sistema Silvipastoril com núcleos arbóreos; PA: Pastagem e FL: Floresta.



Fonte: Autora (2021)

3.3 AMOSTRAGEM

A coleta de amostras de solo ocorreu em 4 de março de 2020, mês com precipitação média de 174 mm, com médias de temperatura mínima de 16⁰ C e máxima de 24⁰ C. Para a coleta das amostras de solo, foram abertas trincheiras de 20cm x 20cm x 20cm e coletadas amostras indeformadas nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, pois essas duas camadas são as mais

representativas para a avaliação da gênese de agregados, principalmente os agregados biogênicos (PEREIRA et al., 2021). Para os tratamentos FL (floresta), PA, FR e SSPNúcleos dentro do núcleo, foram coletadas três amostras simples por camada para formar uma amostra composta, com quatro repetições por tratamento. No tratamento SSPnúcleos, foram coletadas amostras no centro do núcleo e no entorno do núcleo, sendo coletadas amostras indeformadas de solo de forma a contemplar os quatro pontos cardeais (Norte, Sul, Leste e Oeste) do entorno do núcleo arbóreo. Após a coleta das quatro amostras simples no entorno de cada núcleo mais as amostras coletadas no centro de cada núcleo, essas foram agrupadas para formar uma amostra composta por camada e por núcleo. Sendo assim, obteve-se 4 amostras compostas representando 4 entornos de 4 núcleos mais o interior de cada núcleo, caracterizando o sistema SSPnúcleos.

As amostras indeformadas foram coletadas com auxílio de uma espátula e uma pá reta, retirando torrões com a estrutura preservada de aproximadamente 25 cm de comprimento, por 20 de largura nas profundidades 0-5 cm e 5-10 cm, para posterior obtenção dos agregados em laboratório. Também foram coletadas amostras deformadas de solo para avaliação da textura do solo, matéria orgânica leve em água e glomalina.

3.4 PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS

Após a coleta, as amostras foram cuidadosamente transportadas para o Laboratório de Solos da UFSC. Neste, as amostras foram secas ao ar e à sombra, e depois destorroadas manualmente, seguindo-se as linhas de fraqueza e passadas em um conjunto de peneiras de malha 8,0 e 4,0 mm para posterior obtenção dos agregados. Para a separação dos agregados conforme a via de formação e posterior quantificação dos atributos químicos e físicos utilizaram-se os agregados contidos na peneira de 4,0 mm (PEREIRA et al., 2021). Estes foram observados sob microscópio binocular e separados, manualmente conforme as formas morfológicas que apresentavam (PULLEMAN et al., 2005; VELASQUEZ et al. 2007; LOSS et al. 2014b), sendo os fisiogênicos, definidos por apresentarem formas angulares e subangulares (Figura 1), e os biogênicos, aqueles em que é possível a visualização de formas

arredondadas, providas do trato intestinal dos indivíduos da macrofauna do solo e, ou, aqueles associados a atividade de raízes (Figura 1).

3.5 ANÁLISES

3.5.1 Análises de agregados

3.5.1.1 *Porcentagem em Massa de Agregados Biogênicos e Fisiogênicos*

Para determinar a contribuição relativa dos agregados em termos de massa, foram pesados todos os agregados biogênicos e fisiogênicos e quantificado a fração de agregados fisiogênicos e biogênicos em relação à massa inicial. Após a separação, em cada tipo de agregados os mesmos foram destorroados e procederam-se as demais análises.

3.5.1.2 *Estabilidade de Agregados*

Uma forma de avaliar a estrutura do solo é através do tamisamento úmido usando um jogo de peneiras que são imersas em água. A partir do peso de solo que fica em cada peneira são calculados índices de agregação chamados diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG). Quanto maior o DMP maior a porcentagem de agregados grandes. O índice DMG indica a classe de agregados de maior ocorrência (CASTRO FILHO; MUZZILI & PODANOSCHI, 1998).

Do total de agregados biogênicos e fisiogênicos retidos na peneira de 4,00 mm, 25 gramas foram pesados e transferidos para uma peneira de 2,00 mm, assim compondo um conjunto de peneiras com diâmetro de malha decrescente, a saber: 2,00; 1,00; 0,50; 0,25, 0,105 e 0,053 mm.

Os agregados inicialmente colocados na peneira de 2,00 mm foram umedecidos com borrifador e, posteriormente, o conjunto de peneiras foi submetido à tamisação vertical via úmida por 15 minutos no aparelho de Yoder (EMBRAPA, 1997). Transcorrido esse tempo, o material retido em cada peneira foi retirado, separado com jato d'água, colocado em placas de petri previamente pesadas e identificadas, e levado à estufa até a obtenção de massa constante.

A partir da massa de agregados foram calculados o diâmetro médio ponderado (DMP) e geométrico (DMG) dos agregados segundo Embrapa (1997). Ainda, com a massa dos agregados foi avaliada a sua distribuição nas seguintes classes de diâmetro médio: $8,00 > \emptyset \geq 2,0$ mm (macroagregados); $2,0 > \emptyset \geq 0,25$ mm (mesoagregados) e $\emptyset < 0,25$ mm (microagregados). Os agregados retidos nas peneiras foram analisados quanto a composição de Carbono e Nitrogênio. Porém, para esta análise, juntaram-se as massas de macro mais mesoagregados, compondo a classe de macroagregados de tamanho compreendido entre $8,00 > \emptyset \geq 0,25$ mm. Sendo, portanto, avaliados os teores de C e N totais nas classes de macro ($8,00 > \emptyset \geq 0,25$ mm) e microagregados ($\emptyset < 0,25$ mm).

3.5.1.3 Determinação dos teores de carbono e nitrogênio total nos agregados biogênicos e fisiogênicos antes da estabilidade via úmida

Após a separação dos agregados conforme a via de formação, em parte dos agregados de tamanho entre $8,00 > \emptyset \geq 4,0$ mm, foram quantificados os teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) nos agregados biogênicos e fisiogênico. Os teores de COT e NT do solo foram determinados pelo método de combustão a seco, em autoanalisador de C e N, a 900°C (CHN-1000 da Leco).

3.5.1.4 Determinação dos teores de carbono e nitrogênio total nos macroagregados e microagregados biogênicos e fisiogênicos após a estabilidade via úmida

A massa de macroagregados e mesoagregados foram homogeneizadas e compuseram a classe de macroagregados ($8,00 > \emptyset \geq 0,25$ mm). Nessa classe e na de microagregados de cada via de formação foram avaliados os teores de COT e NT pelo método de combustão a seco, em autoanalisador de C e N, a 900°C (CHN-1000 da Leco).

3.5.1.5 *Fracionamento Granulométrico da Matéria Orgânica de Agregados*

Após a separação dos agregados conforme a via de formação, parte dos agregados de tamanho entre $8,00 > \emptyset \geq 4,0$ mm foi reservada para realização do fracionamento granulométrico da matéria orgânica contida nos agregados biogênicos e nos fisiogênicos. Para tal, foi utilizada a metodologia de Cambardella & Elliott (1992). Primeiro, os agregados biogênicos e fisiogênicos foram destorroados e passados em peneira de 2 mm. Deste material, foram pesados 20 gramas de cada amostra e colocados em recipiente de vidro. Junto a esse material, foi adicionado 60 ml de solução hexametáfosfato de sódio com concentração de 5 g/L. Esse conjunto foi colocado em mesa de agitação horizontal por um período de aproximadamente 16 horas. Decorrido este tempo, procedeu-se com a lavagem do material em peneira de malha 53 μm com água corrente a fim de separar a fração e areia de silte e argila. O material retido na peneira representa a matéria orgânica particulada (MOP > 53 μm) associado à fração areia, que foi seco a 50 °C em estufa de circulação de ar forçado. Posteriormente, foi quantificado a sua massa e moído em gral de porcelana para obtenção do teor de carbono orgânico particulado (COp) e nitrogênio orgânico particulado (Np), determinado em analisador elementar de combustão seca (modelo FlashEA 1112 Thermo Finnigan) no laboratório de Biotransformações de Carbono e Nitrogênio (LABCEN), Santa Maria, RS. O material que passou pela peneira de 53 μm e que contém os minerais de silte e argila, representa a matéria orgânica mineral (< 53 μm). Nesta foram determinados o carbono orgânico associado aos minerais silte e argila (COam) e nitrogênio mineral (Nam). Para a obtenção dos teores de COam e Nam, mensurou-se a diferença entre os teores totais de COT/NT com COp/Np.

3.5.1.6 *Textura*

Foi realizada a caracterização granulométrica dos agregados biogênicos e fisiogênicos (tamanho entre $8,00 > \emptyset \geq 4,0$ mm), conforme método da pipeta, descrito em Embrapa (1997).

3.5.2 Análises de solo

3.5.2.1 Densidade

A densidade do solo (D_s) foi determinada por meio da coleta das amostras indeformadas nos mesmos locais de coleta das amostras para agregados, no sentido horizontal, pelo método do anel volumétrico (Kopecky), que possui volume conhecido (50 cm³). A D_s foi calculada pela seguinte equação: $D_s = (g\text{ cm}^{-3}) = M_s/V_s$; onde M_s = massa seca do solo, em g; e V_s = volume do solo, em cm³, conforme descrito em Embrapa (1997).

3.5.2.2 Glomalina

A extração de glomalina facilmente extraível e total foram realizadas conforme descrito por Nichols e Wright (2005) e Wright e Upadhyaya (1996).

O solo da camada de 0-10 cm foi peneirado em malha de 1 mm e em seguida pesado 1 g em tubos falcons de 50 ml. As amostras foram feitas em duplicata e também foi medido a umidade de cada amostra (1 g de solo a 105^oC em 24 horas). A extração de glomalina exige uma solução extratora neste caso o citrato de sódio que precisa ser de pH 7 para extrair a glomalina facilmente extraível e de pH 8 para a extrair a glomalina total.

Os dois tipos de glomalina podem ser extraídos com o mesmo 1 g de solo. Primeiro, adicionou-se ao tubo falcon com solo 8 ml de citrato de sódio de pH7. Os tubos falcons foram levados para a autoclave, onde ficaram à 120^oC por 60 minutos. Após retirar da autoclave, os tubos falcons foram colocados em centrífuga a 5.500 rpm por 6 minutos. Retirados da centrífuga observaram-se duas fases, uma sólida que precipitou e outra líquida e com tom marrom escuro. Este líquido foi vertido em tubos falcons de 15 ml e congelado, sendo nesta primeira etapa extraído alíquotas de glomalina facilmente extraível.

Após verter o líquido, adicionaram-se ao material precipitado mais 8 ml de citrato de sódio, porém agora com pH 8 e repetiu-se o procedimento de autoclavar, centrifugar e separar a alíquota por mais 7 vezes, guardando a alíquota no mesmo tubo falcon. Ao final, quando a amostra ficou com uma coloração marrom muito clara, parou-se a extração a fim de não diluir

demais a amostra. Na metodologia não há uma definição do número de extrações que devem ser realizadas, pois depende de solo, manejo e da cor que cada alíquota vai apresentando. As alíquotas foram congeladas até a data de leitura.

Para a leitura, as amostras foram descongeladas. Seguiu-se com a preparação de uma curva de referência onde foi usado uma solução estoque BSA (Bovine Serum Albumin) com uma solução tampão PBS. Em seguida adicionou-se reagente de Bradford à curva e às amostras que foram lidas obtendo-se o valor de densidade óptica. Foi calculada uma equação a partir da curva e substituído com o valor de densidade óptica obtido. Ao final se obteve a quantia de mg de proteína por grama de solo. Foram feitas duas leituras, uma para a glomalina facilmente extraível e outra para a glomalina total.

3.5.2.3 *Matéria Orgânica Leve Em Água*

Para a análise da matéria orgânica leve em água (MOL), foi usado o solo seco ao ar, destorroado e passado em malha de 2,00 mm, o que caracteriza a terra fina seca ao ar (TFSA) das amostras. A metodologia seguiu conforme a descrito por Anderson & Ingram (1989). Foram pesados 50 g de TFSA, e adicionados 100 ml de NaOH 0,1 mol/L e esse conjunto ficou em repouso por uma noite. No dia seguinte, a solução foi agitada com bastão de vidro e todo o material foi vertido em peneira de 0,25 mm para eliminação da fração de argila. O material retido na peneira foi retornado ao recipiente, adicionado água até a borda e agitado com bastão de vidro, a areia ficou ao fundo e a matéria orgânica leve flutuou. Nesta etapa, apenas o material flotado foi vertido novamente para a peneira com cuidado para que a areia permanecesse no fundo do recipiente. Esta etapa foi repetida até que não houvesse mais MOL flotando. Após esta etapa, a MOL retida na peneira foi bem lavada e passada para uma placa previamente pesada e levada para a estufa à 65^oC até obter massa constante (aprox. 72 horas). Após a secagem a MOL foi quantificada em relação à sua massa.

3.6 ESTATÍSTICA

Os resultados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade dos dados por meio dos testes de Lilliefors e Bartlett, respectivamente. O delineamento foi considerado como inteiramente casualizado, com quatro tratamentos (áreas = floresta, frutífera, pastagem e SSPnúcleos) e quatro repetições. Os tratamentos avaliados estão sob as mesmas condições topográficas e edafoclimáticas, diferindo apenas no tipo de manejo e cobertura vegetal. Os resultados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores médios, quando significativos, comparados entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, através do software Sisvar 5.6. Também foram feitas análises estatísticas entre as classes de agregados (biogênicos e fisiogênicos) para cada tratamento (área avaliada), sendo utilizado o teste t-LSD a 5% de probabilidade através do software Sisvar 5.6.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PORCENTAGEM DE AGREGADOS BIOGÊNICOS E FISIOGÊNICOS

A pastagem, nas duas profundidades avaliadas, apresentou-se como o tratamento com maior porcentagem de agregados biogênicos, sendo 75,22% na camada 0-5 cm e 64,52% na camada 5-10 cm. Corroborando com o trabalho de Pulleman et al., (2005) e Batista et al., (2013), onde a fração de agregados não fisiogênicos (biogênicos + intermediários) em sistemas com pastagem significou 72,47% e 77,5% da massa dos agregados respectivamente. Os demais tratamentos não diferiram entre si na primeira camada, apenas na segunda, com SSPnúcleos apresentando o menor valor de agregados biogênicos (35,53%). Desta forma, o tratamento SSPnúcleos apresenta-se como o tratamento com mais agregados fisiogênicos na profundidade 5-10 cm, com 64,47% (Tabela 1).

Tabela 1 Distribuição (%) dos agregados por classe morfológica na amostra em duas profundidades em Santa Rosa de Lima, SC.

Tratamento	Biogênico (%)	Fisiogênico (%)	CV
	0-5 cm		
FL	46,11 b B	53,89 a A	8,14
FR	47,84 b B	52,16 a A	6,48
PA	75,22 a A	24,78 b B	2,36
SSPnúcleos	44,49 b B	55,51 a A	3,31
CV	4,89	6,36	
	5-10 cm		
FL	45,31 b B	54,69 b A	4,49
FR	45,20 b B	54,80 b A	0,59
PA	64,52 a A	35,48 c B	3,5
SSPnúcleos	35,53 c B	64,47 a A	2,2
CV	3,22	2,93	

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey, e letra maiúscula na linha não diferem pelo teste t-LSD. FL: Floresta; FR: amora consorciada com plantas de cobertura na entrelinha; PA: Pastagem; SSPnúcleos: Sistema silvipastoril com núcleos arbóreos. CV: Coeficiente de variação em %.

A maior formação de agregados biogênicos na pastagem pode ser decorrente do sistema radicular da gramínea forrageira. As pastagens, quando bem manejadas, preservam um grande volume de raízes nas primeiras camadas de solo, o que ajuda a formar mais agregados (SALTON et al., 2008), principalmente biogênicos (PULLEMAN et al., 2005; LOSS et al., 2014b; Silva Neto et al., 2012). As forrageiras na pastagem promovem a adição de carbono e assim aumentam a presença de fauna do solo, em especial de minhocas (CAMARGO et al., 2015), que por sua vez, favorecem a formação de agregados biogênicos (LOSS et al. 2014b). Além disso, a rizosfera é um ambiente muito rico e propício ao desenvolvimento de microrganismos que são estimulados pela produção de exsudatos radiculares das plantas (SYLVESTER-BRADLEY et al., 1982; BATISTA et al., 2019). A soma do manejo agroecológico empregado na condução desta pastagem com a presença de muitas raízes foram fatores responsáveis pela maior proporção de agregados biogênicos neste tratamento. Ademais, durante a separação visual de agregados foi possível evidenciar maior proporção de coprólitos de minhocas na pastagem em comparação aos demais tratamentos. Dessa forma, as minhocas interferem positivamente na quantidade de agregados biogênicos no local de estudo.

Além da possível influência da macrofauna, esta maior proporção de agregados biogênicos na pastagem também pode estar relacionada ao maior teor de carbono orgânico particulado (COp) encontrado neste tratamento em ambas as profundidades (Tabela 4). Sistemas de uso e manejos do solo que incluem a pastagem no seu plano de rotação tendem a aportar mais carbono particulado no solo (LOSS et al., 2014c) e melhorar os índices de agregação (LOSS et al 2011).

Em relação ao SSPnúcleos, a menor proporção de agregados biogênicos na camada de 5-10 cm pode ser decorrente da presença de animais devido ao fornecimento de sombra e, portanto, maior atividade de pisoteio animal (DENIZ et al., 2020), o que pode ter contribuído para uma possível diminuição da macrofauna do solo, como as minhocas.

4.2 ESTABILIDADE DE AGREGADOS

4.2.1 Diâmetros Médios Ponderado (DMP) e Geométrico (DMG) dos agregados biogênicos e fisiogênicos.

O DMP dos agregados biogênicos diferiu entre os tratamentos apenas na camada de 5-10 cm. O menor valor foi encontrado para a área de frutífera (4,79 mm). Em relação ao DMP dos agregados fisiogênicos, houve maiores variações (diferenças estatísticas) entre os tratamentos nas duas camadas avaliadas. De maneira geral, as áreas de pastagem e SSPnúcleos apresentaram os maiores valores, e as áreas de floresta e frutíferas, os menores (Tabela 2).

Tabela 2: Valores de diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG), em mm, nas duas camadas avaliadas para as duas vias de formação de agregados de solo em Santa Rosa de Lima, SC.

Tratamento	DMP			DMG		
	Biogênico	Fisiogênico	CV(%)	Biogênico	Fisiogênico	CV(%)
0-5						
FL	4,90 a A	4,68 c B	1,78	4,66 b A	3,86 b B	8,55
FR	4,93 a A	4,83 b B	0,42	4,81 ab A	4,48 a B	1,85
PA	4,95 a A	4,91 ab A	0,63	4,86 a A	4,77 a A	1,7
SSPnúcleos	4,95 a A	4,93 a B	0,18	4,87 a A	4,77 a B	0,54
CV(%)	0,62	1,21		2,43	5,49	
5-10						
FL	4,92 a A	4,82 bc B	0,58	4,69 a A	4,24 b B	2,79
FR	4,79 b A	4,75 c A	1,83	4,37 b A	4,13 b A	8,38
PA	4,93 a A	4,93 a A	0,5	4,72 a A	4,78 a A	1,59
SSPnúcleos	4,95 a A	4,90 ab B	0,29	4,83 a A	4,66 a B	1,51
CV(%)	0,71	1,21		2,89	5,43	

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey, e letra maiúscula na linha não diferem pelo teste t-LSD. FL: Floresta; FR: amora consorciada com plantas

de cobertura na entrelinha; PA: Pastagem; SSPnúcleos: Sistema silvipastoril com núcleos arbóreos. CV: Coeficiente de variação em %.

No geral, foram encontrados maiores valores de DMP para agregados biogênicos do que fisiogênicos, à exceção da pastagem que não apresentou diferenças de DMP entre os tipos de agregados em nenhuma das profundidades avaliadas. Na camada de 5-10 cm, além da pastagem, a área de frutífera também não apresentou diferenças entre agregados fisiogênicos e biogênicos (Tabela 2).

Para os valores de DMG, na camada 0-5 cm, a área de floresta, para as duas vias de formação, apresentou os menores valores, mas sem diferir da área de frutífera para biogênicos. Na camada de 5-10 cm, o tratamento FR foi o que apresentou o menor valor de DMG de agregados biogênicos e fisiogênicos junto a floresta para este último. Em relação às diferenças entre as vias de formação em cada tratamento, assim como verificado para os dados de DMP, todos os tratamentos avaliados, à exceção da pastagem (0-5 cm) e pastagem e FR (5-10 cm), apresentaram maiores valores de DMG para os agregados biogênicos (Tabela 2).

Agregados biogênicos tendem a apresentar maior estabilidade ao peneiramento úmido que fisiogênicos (SILVA NETO et al., 2016), conforme evidenciado na Tabela 2, nos tratamentos que apresentaram diferenças entre as vias de formação. Os maiores índices de agregação (DMP e DMG) dos agregados biogênicos de FL, FR e SSPnúcleos na profundidade de 0-5 cm são decorrentes dos maiores valores de COT (Tabela 4) nestes agregados em comparação aos agregados fisiogênicos. Com maiores conteúdos de MOS nos agregados biogênicos, há também maior atividade da biota do solo, o que favorece a formação da via biogênica (BRONICK; LAL, 2005). A pastagem não apresentou diferença de DMP e DMG nas vias de agregação possivelmente pela forte influência de exsudatos radiculares, quais podem ter atuado de forma positiva sobre a estabilidade de agregados fisiogênicos.

Nas áreas de SSPnúcleos e pastagem, os maiores valores de DMP e DMG, para as duas vias de formação dos agregados quando comparadas com as áreas de floresta e frutífera, podem ser devido à presença das raízes fasciculadas das gramíneas, que são densas e bem distribuídas na camada de 0-10 cm de profundidade, e isso naturalmente favorece o processo

de formação de agregados maiores e mais estáveis nas pastagens (TORRES et al., 2015; BATTISTI et al., 2020). Avaliando os valores de DMG em áreas de pastagem sob PRV com e sem árvores, Battisti et al. (2020) também encontraram maiores valores de DMG nos tratamentos com gramíneas (pastagens) em comparação a uma área de floresta primária e floresta secundária, em Santa Rosa de Lima, SC. Os autores ainda relataram que nas áreas de pastagem, além do efeito do sistema radicular, há o aporte constante de dejetos bovinos, o que favorece o aumento do conteúdo de matéria orgânica e, conseqüentemente, também favorece a formação de agregados de maior tamanho e mais estáveis (Tabela 3).

Na área com frutífera, menores valores de DMG e DMP nos agregados biogênicos e fisiogênicos, principalmente na camada de 5-10 cm, podem ser decorrentes do manejo que anteriormente foi feito nesta área, somado à ausência de gramíneas. Esta menor agregação é corroborada pelos menores conteúdos de matéria orgânica leve em água (MOL) (Figura 5), e teores de glomalina total (Figura 6). Atualmente, nesta área há o plantio de leguminosas na entrelinha, e quando comparado às gramíneas, as leguminosas são menos eficientes em manter a estabilidade de agregados pela menor constância de renovação radicular e menor relação C:N (SILVA; MIELNICZUK, 1998). Além disso, nesta mesma área de estudo foi realizada uma avaliação participativa da qualidade do solo e foi constatado que, na área de frutífera, em comparação às demais áreas, a qualidade era inferior no que tange aos atributos estrutura, compactação e profundidade de raízes (COMIN et al., 2020). Esta menor qualidade do solo na área de frutífera é corroborada pelos maiores valores de densidade do solo em comparação às demais áreas avaliadas (Figura 4), tornando o ambiente menos propício ao desenvolvimento de microrganismos (LAVELLE et al., 2020) e, conseqüente formação de glomalina total (Figura 6).

Dentre todos os tratamentos avaliados, na área de frutífera foi observada a menor densidade radicular na camada de 0-10 cm de profundidade, conforme evidenciado na avaliação participativa da qualidade do solo (COMIN et al., 2020). Com uma menor densidade de raízes, comparado às demais áreas avaliadas, na área de frutífera pode-se inferir que há menor formação de exsudatos radiculares e menor diversidade de microrganismos, o que poderá afetar a formação de macroagregados (BAUMERT et al., 2018).

4.2.2 Distribuição da massa de Macro, Meso e Microagregados

A classe de agregados que predominou, em todos os tratamentos, foi a classe de macroagregados, indicando que os sistemas de uso e manejo do solo está favorecendo a formação de macroagregados estáveis (Tabela 3). Essa maior proporção de macroagregados corrobora os altos valores de DMP e DMG (Tabela 2) encontrados em todos os sistemas de uso e manejo avaliados. Conforme a metodologia usada para avaliação dos agregados neste estudo (EMBRAPA, 1997), o maior valor DMP e DMG que poderia ser encontrado seria 5,00 mm.

Em ambas as camadas avaliadas, a pastagem e o SSPnúcleos apresentaram maiores quantias de macroagregados biogênicos e fisiogênicos que os sistemas de floresta e frutífera. Isso se justifica porque nas áreas de pastagem e SSPnúcleos predomina a cobertura vegetal de gramíneas, que apresentam alta densidade radicular. A espécie, que é a missioneira gigante, ajuda a formar e estabilizar os macroagregados (BRONICK; LAL, 2005).

Nas áreas de Floresta e Frutífera vale destacar que mesmo apresentando menores quantidades de macroagregados em comparação aos demais tratamentos, a classe de macroagregados representa, em torno de, 98% dos agregados para a área de Floresta, e 97% para a área de frutífera, respectivamente. Na área de frutífera, devido ao manejo realizado anteriormente ao cultivo da amora com plantas de cobertura na entrelinha (escarificação do solo), ainda não foi possível equiparar-se às áreas com pastagens, o que pode ser observado devido a maior proporção de massa de meso e microagregados, principalmente na camada 5-10 cm (Tabela 3). Além disso, na área de frutífera há o constante tráfego de pessoas para realizar os tratos culturais das amoreiras.

Em relação às diferenças entre as classes de agregados para cada tratamento, verificou-se que para os macroagregados não foram evidenciadas diferenças entre as vias de formação, o que também foi evidenciado por Mergen Júnior et al. (2019), que avaliaram a distribuição da massa de agregados biogênicos e fisiogênicos em áreas manejadas em sistema plantio direto sem o uso de agrotóxicos e com adubação de dejetos suínos. Isto indica que tanto macroagregados biogênicos quanto fisiogênicos apresentam alta estabilidade estrutural via úmida. Porém, quando comparamos a distribuição da massa de mesoagregados e

microagregados, de maneira geral, verificaram-se maiores quantidades de massa de agregados fisiogênicos em comparação aos biogênicos (Tabela 3). Agregados biogênicos, por apresentarem-se positivamente correlacionados com DMP, carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COp) e carbono orgânico associado aos minerais (COam), conforme relatado por Batista et al. (2019), são mais estáveis, o que poderia explicar a menor massa desses agregados (meso e micro) em comparação aos fisiogênicos.

Tabela 3: Distribuição da massa de agregados (g) de agregados biogênicos e fisiogênicos nas diferentes classes de tamanho e em diferentes sistemas de uso da terra em Santa Rosa de Lima, SC.

Tratamento	Macro			Meso			Micro		
	B	F	CV	B	F	CV	B	F	CV
0-5 cm									
FL	19,87 c A	19,88 c A	3,34	0,01 c B	0,02 c A	25	0,21 b B	1,09 a A	64,32
FR	22,15 b A	21,90 b A	0,99	0,11 a B	0,51 a A	26,16	0,37 a A	0,39 b A	31,18
PA	22,62 ab A	23,075 a A	3,68	0,04 b B	0,26 b A	40,51	0,12 b A	0,19 b A	28,41
SSPNúcleos	23,36 a A	23,22 a A	0,39	0,09 a B	0,19 b A	19,91	0,09 b B	0,19 b A	17
CV	2,72	2,24		25,96	29,5		46,37	63,52	
5-10 cm									
FL	21,35 b A	21,35 b A	3,28	0,01 c A	0,01 d A	39,28	0,22 b B	0,75 a A	22,51
FR	22,04 b A	21,84 b A	3,15	0,77 a A	0,54 a B	9,03	0,58 a A	0,63 a A	17,15
PA	23,34 a A	23,72 a A	1,79	0,03 bc B	0,08 c A	23,8	0,23 b A	0,14 c B	18,67
SSPNúcleos	23,52 a A	23,32 a A	0,65	0,07 b B	0,15 b A	10,97	0,17 b B	0,37 b A	16,92
CV	2,4	2,39		13,63	16,07		20,61	20,22	

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey, e letra maiúscula na linha não diferem pelo teste t-LSD. FL: Floresta; FR: amora consorciada com plantas de cobertura na entrelinha; PA: Pastagem; SSPnúcleos: Sistema silvipastoril com núcleos arbóreos. CV: Coeficiente de variação em %.

4.3 CARBONO E NITROGÊNIO TOTAIS E DAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA NOS MACROAGREGADOS ($8,00 > \emptyset \geq 4,0$ mm)

Os resultados dos teores de C e N mostraram que na camada 0-5 cm ocorrem maiores variações (diferenças) entre os tratamentos avaliados (Tabelas 4 e 5), o que pode ser decorrente da maior influência dos agentes responsáveis pela gênese de agregados, tais como fauna do solo e sistema radicular. Os teores de COT apresentaram diferenças para todos os tratamentos, independentemente do tipo de agregado, porém este padrão foi observado somente na camada superficial do solo (Tabela 4). Isto é decorrente da maior deposição de resíduos vegetais no solo e da quantidade e qualidade de material promovido pelo sistema de uso e manejo somado a intensidade de ação antrópica, sendo estes fatores responsáveis pelo maior acúmulo de COT na camada superficial do solo (GAZOLLA et al., 2015). Assim, a floresta é o tratamento com maior valor de COT nas duas camadas avaliadas e nos dois tipos de agregados (biogênicos e fisiogênicos). Depois da área de floresta, os maiores teores de COT foram encontrados no SSPnúcleos, seguido de frutífera e pastagem. Destaca-se que na camada superficial, a área de frutífera apresentou maiores teores de COT que a área de pastagem (Tabela 4).

Dentre os sistemas que mais se assemelham à área de floresta, destaca-se o SSPnúcleos, que além da adição de carbono via sistema radicular da pastagem, tem a contribuição dos núcleos arbóreos, que adicionam resíduos vegetais ao solo. O SSPnúcleos é cercado, o que evita a presença de animais dentro no núcleo. Ademais, a entrada de pessoas nesta área cercada ocorre esporadicamente para reposição de mudas, colheita de algum produto ou limpeza de mudas recém-plantadas. O manejo em SSPnúcleos não é intenso e isto faz com que esse tratamento se assemelhe mais com a área de floresta do que os demais tratamentos.

Os maiores teores de COT na área de frutífera em comparação à pastagem, na camada superficial do solo, é devido à presença de leguminosas (ervilhaca e feijão), que aportam ao solo uma fitomassa rica em nitrogênio, somado à poda da amora que é realizada anualmente e deposita resíduos vegetais à superfície do solo. Na pastagem, há apenas a deposição de

resíduo vegetal de gramínea, e na frutífera, há diversidade de resíduos, sendo isto um fator que impacta positivamente nos valores de carbono e nitrogênio no solo (BIASSI, 2018). Logo, a poda da amora somado aos resíduos de feijão e ervilhaca ao longo do ano conferem a este tratamento um maior valor de COT para agregados biogênicos e fisiogênicos na camada de 0-5 cm em comparação à pastagem, porém, devido ao histórico de uso da área de frutífera (uso de subsolador), em profundidade os valores de COT não diferem da área de pastagem (Tabela 4), mas são inferiores às áreas de floresta e SSPnúcleos.

Em relação ao carbono orgânico particulado (COp), a pastagem é o tratamento que apresenta maiores teores de COp para agregados biogênicos na camada 0-5 cm, porém sem diferir da área de floresta para agregados fisiogênicos. Na camada de 5-10 cm, a área de floresta apresentou os maiores teores de COp em comparação à frutífera para os agregados biogênicos. Para os agregados fisiogênicos, a pastagem apresentou os maiores valores de COp e a área de frutífera, os menores (Tabela 4). O COp é composto por resíduos de plantas e hifas apresentando em média 47% de lignina e 18% de celulose (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992), sendo dependente da proteção física de agregados e, portanto, comumente maior em solos com usos de pastagens (SALTON et al., 2011). O maior teor de COp nos agregados biogênicos corrobora com a maior proporção de agregados biogênicos (Tabela 1) encontrados na área de pastagem, sendo estes agregados relacionados à presença de raízes.

Gramíneas, em geral, promovem uma formação radicular abundante e que encontram-se frequentemente em constante renovação (SILVA; MIELNICZUK, 1998), o que favorece o incremento de teores de COp no solo e a formação de macroagregados biogênicos (PULLEMAN, et al., 2005), e após a decomposição de COp por microrganismos liberando exsudatos que auxiliam na estabilidade (BRONICK; LAL, 2005), possivelmente incrementando a formação de agregados fisiogênicos com maiores teores de COp no seu interior, conforme evidenciado na Tabela 4.

Os menores teores de COp na área de frutífera possivelmente estão associados ao histórico de uso desta área, somado com a presença de leguminosas, que por possuírem menor relação C/N que as gramíneas, apresentam decomposição de sua fitomassa mais acelerada, o que pode causar menores teores de COp em comparação as gramíneas (PULLEMAN et al.,

(2005) que estão presentes em SSPnúcleos e pastagem, e à área de floresta (LOSS et al., 2014), que apresenta resíduos vegetais de folhas e galhos mais lignificados.

Quanto ao carbono associado aos minerais (COam), a área de floresta apresentou os maiores teores nas duas camadas e nos dois tipos de agregados (biogênicos e fisiogênicos). Estes resultados corroboram com os maiores valores de COT encontrados na área de floresta, indicando que é uma área sem interferência antrópica e que os demais valores de COam são decorrentes do constante aporte de serrapilheira, que é transformada gradativamente em matéria orgânica pela atividade microbiana e posteriormente ligada aos colóides do solo, com a fração argila. Resultados semelhantes foram encontrados por Pinto et al. (2021), que avaliaram os teores de COT e COam em agregados biogênicos e fisiogênicos em áreas de Cerrado nativo, SPD e SPC. Os autores encontraram maiores teores de COT e COam na área de cerrado nativo, mas não encontraram diferenças nas áreas de SPD e SPC em função dos teores de COam. Em outro estudo no sul do Brasil, Loss et al. (2014) avaliaram os teores de COP e COam em áreas de SPD, SPC, floresta secundária e pastagem. Os autores encontraram maiores teores de COT e COam na pastagem em comparação a floresta secundária, SPC e SPD. E os autores relatam que na floresta, os menores teores de COT e COam são baixos devido ser uma área que está em processo de regeneração, não sendo uma floresta primária, como é o caso do presente estudo.

A área de pastagem apresenta os menores teores de COam nas duas camadas avaliadas e nos dois tipos de agregados, exceto para 5-10 cm, que não diferiu de frutífera. Estes resultados são decorrentes dos menores teores de COT encontrados na pastagem para 0-5 cm e iguais entre pastagem e frutífera para 5-10 cm. Os teores de COam se correlacionam diretamente com os teores de COT, conforme constatado por Nanzer et al. (2019) e Loss et al., (2014c). Logo, sistemas de uso e manejo do solo que favoreçam o acúmulo de COT, somado a ausência de interferência antrópica, também favorecem o acúmulo de COam, como pode ser observado na área de floresta. O maior teor de COam indica maior estabilização de C na fração mineral do solo (GAZOLLA et al., 2015).

Na área de pastagem, os menores valores de COam entre os tratamentos e para ambos os agregados (biogênicos e fisiogênicos) pode ser devido ao maior teor de COP encontrado

nesta área. As frações de COp e COam se formam em processos opostos, ou seja, para maior conteúdo de COam, normalmente maior é a decomposição do COp (LOSS et al., 2012a; Loss et al., 2014c). A pastagem é o único sistema que apresenta apenas uma espécie vegetal (gramínea) em comparação aos outros sistemas. Assim, há uma decomposição dos resíduos vegetais mais lenta na pastagem, conservando mais COp neste tratamento.

Ao contrário dos demais tratamentos, na pastagem, os valores de COam tendem a aumentar com o aumento da profundidade. Destaca-se um aumento de 28% para biogênicos e 80% para fisiogênicos, quando se compara os teores de COam de 0-5 para 5-10 cm (Tabela 4). Este padrão pode ser decorrente da maior transformação do COp para COam na pastagem para 5-10 cm. E este resultado corrobora os teores de matéria orgânica leve (MOL) em água que são iguais nas áreas de pastagem e SSPnúcleos na profundidade de 5-10 cm (Figura 5).

Para o nitrogênio total (NT), a área de floresta apresenta os maiores valores nas duas camadas avaliadas e nas duas vias de formação de agregados. A floresta tem uma cobertura vegetal que fornece ampla diversidade de resíduos vegetais (folhas e galhos), que é fonte de alimentos para a biota do solo que habita este ambiente. E, somado à ausência de atividade antrópica, há aumento dos teores de COT e NT, principalmente nos agregados do solo. Nos ambientes sem interferência antrópica e com frequente aporte vegetal, há aporte de N recente nos agregados do solo (ASSIS et al., 2006). Somados a estes benefícios, a floresta é a área que apresenta o maior teor de glomalina nos 10 primeiros cm de solo (Figura 6), o que ajuda a garantir a alta estabilidade dos agregados (RILLIG, 2004). Toda esta proteção física provida pelo tratamento floresta aos teores de C e N, torna este ambiente (os agregados) menos acessível à atividade microbiológica, contribuindo para os maiores valores destes elementos nos agregados.

Para os demais tratamentos, na camada de 0-5 cm, as áreas de frutífera e SSPnúcleos não diferem estatisticamente entre si no que diz respeito aos teores de NT para os dois tipos de agregados. Já a pastagem é o tratamento com menor teor de NT nos agregados. Em comum, as áreas de frutífera e SSPnúcleos possuem leguminosas, sendo ervilhaca e feijão na entrelinha da frutífera e bracatinga e ingá no SSPnúcleos, o que contribui para o incremento de nitrogênio no solo. Árvores leguminosas podem inclusive melhorar a resistência dos

agregados à ruptura (FAUSTINO; MARCIANO; ANDRADE, 2021), promovendo maior proteção dos nutrientes dentro deste.

Corroborando com este estudo, Santos et al., (2018) também encontraram maiores valores de NT em área de floresta do que em áreas de pastagem e além disso, os autores verificaram maiores valores de NT em pastagens com árvores (semelhante ao SSPnúcleos) do que em pastagens desprovidas de árvores. Além da presença de árvores, os autores também destacaram a maior deposição de dejetos de animais que preferem ficar nos locais sombreados. Battisti et al., (2018) também encontraram maiores valores de NT em área de SSPnúcleos comparado com pastagem sem árvores ao avaliar este elemento em profundidade de até 40 cm.

Quanto ao nitrogênio particulado (Np), as maiores variações entre os tratamentos ocorrem na camada de 0-5 cm para agregados biogênicos, com destaque para a pastagem seguida de floresta e SSPnúcleos, que são estatisticamente iguais entre si, e com os menores valores, a área de frutífera. Para os agregados fisiogênicos, na camada superficial, a pastagem e a floresta apresentaram os maiores valores de Np em comparação a frutífera e SSPnúcleos (Tabela 5). A fração particulada deriva de resíduos de plantas em decomposição e hifas de fungos, ficando protegidos dentro de agregados (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992). Assim, como a pastagem apresentou, em geral, maiores valores de COp, também apresentou maiores valores de Np. E isso está associado à constante deposição e renovação de tecido vegetal promovida pela pastagem, que apresenta um material com maior relação C/N e decomposição mais lenta quando comparado aos demais sistemas. Além disso, a relação C/N dos agregados da pastagem é maior que nos demais tratamentos, refletindo na maior durabilidade deste material em comparação com os demais usos do solo.

O nitrogênio associado aos minerais (Nam) apresentou resultados semelhantes ao COam, com maiores valores na área de floresta e menores na pastagem, nas duas camadas avaliadas e nos dois tipos de agregados (Tabela 5). Este padrão reforça que a área de floresta representa um ambiente mais estável e sem perturbação antrópica, com equilíbrio entre adições e perdas de C e N. Já na área de pastagem, assim como já relatado para o COp e COam, para o Np e Nam, também se evidencia que há maiores valores de Np em detrimento do

Nam, o que pode estar associado à constante renovação do sistema radicular, com adição de material vegetal com maior relação C/N em comparação aos demais tratamentos.

Em relação às diferenças entre as vias de formação de agregados, para todos os usos do solo, quando se evidenciaram as diferenças, os agregados biogênicos apresentaram maiores teores de C e N totais e das frações granulométricas da MOS quando comparado aos fisiogênicos, exceto para a pastagem na camada de 5-10 cm, onde o Np foi superior nos agregados fisiogênicos.

Os maiores teores de C e N nos agregados biogênicos refletem que nestes agregados há melhores condições químicas, sendo isto decorrente da maior atividade biológica e presença de fauna do solo, que são os fatores preponderantes para formação dessa via de agregação. Estes resultados estão de acordo com outros estudos da literatura, que também evidenciaram que os agregados biogênicos apresentam qualidade superior aos fisiogênicos, principalmente devido apresentarem maiores teores de C e N (FERREIRA et al., 2020; MELO et al., 2019; LOSS et al., 2017).

Tabela 4: Carbono orgânico total (COT), Carbono orgânico particulado (COp) e Carbono orgânico associado aos minerais (COam) nos tratamentos floresta (FL), Frutífera (FR), Pastagem (PA) e Sistema Silvipastoril com núcleos arbóreos (SSPnúcleos) para agregados biogênicos (B) e fisiogênicos (F) nas camadas de 0-5 e 5-10 cm avaliados em Santa Rosa de Limas, SC.

Tratamento	COT			COp			COam		
	B	F	CV(%)	B	F	CV(%)	B	F	CV(%)
0-5 cm									
FL	59,13 a A	49,14 a B	4,27	14,61 b A	13,76 a A	13,39	44,16 a A	38,00 a B	2,26
FR	38,52 c A	34,71 c B	3,85	6,77 c A	6,79 b A	17,04	31,80 b A	27,51 c B	4,06
PA	34,51 d A	25,31 d B	2,38	17,79 a A	12,55 a B	6,89	18,75 d A	12,76 d B	6,79
SSPNúcleos	44,57 b A	37,80 b B	1,78	15,10 b A	8,93 b B	6,14	29,86 c A	30,55 b A	3,33
CV(%)	2,67	4,55		5,26	15,88		3,91	3,19	
5-10 cm									
FL	45,16 a A	36,53 a B	5,29	6,84 a A	5,35 b A	14,64	38,32 a A	33,05 a B	5,08
FR	30,41 c A	27,48 c A	9,00	5,30 b A	2,86 c B	17,63	25,88 c A	24,18 c A	6,91
PA	30,26 c A	29,60 c A	3,58	6,24 ab A	7,29 a A	13,92	24,02 c A	23,04 c A	4,68
SSPNúcleos	35,80 b A	32,46 b B	3,04	5,53 b A	4,37 b B	13,30	29,32 b A	28,08 b A	4,02
CV (%)	6,19	4,54		11,64	18,36		6,19	3,87	

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey, e letra maiúscula na linha não diferem pelo teste t-LSD. FL: Floresta; FR: amora consorciada com plantas de cobertura na entrelinha; PA: Pastagem; SSPnúcleos: Sistema silvipastoril com núcleos arbóreos. CV: Coeficiente de variação em %.

Tabela 5: Nitrogênio Total (NT), Nitrogênio orgânico particulado (Nop) e Nitrogênio associado aos minerais (Nam) nos tratamentos floresta (FL), Frutífera (FR), Pastagem (PA) e Sistema Silvipastoril com núcleos arbóreos (SSP) para agregados biogênicos (B) e fisiogênicos (F) nas camadas de 0-5 e 5-10 cm avaliados em Santa Rosa de Limas, SC.

Tratamento	NT			Np			Nam		
	B	F	CV(%)	B	F	CV(%)	B	F	CV(%)
0-5 cm									
FL	6,29 a A	5,59 a B	3,69	1,06 b A	1,14 a A	11,56	5,32 a A	4,56 a B	4,62
FR	4,38 b A	3,85 b B	6,64	0,45 c A	0,46 b A	15,82	3,82 b A	3,45 b A	8,11
PA	2,81 c A	2,04 c B	6,54	1,4 a A	1,01 a B	6,75	1,41 d A	1,06 c B	9,67
SSPNúcleos	4,41 b A	3,93 b B	2,73	0,98 b A	0,57 b B	8,37	3,49 c A	3,41 b A	1,63
CV(%)	5,54	3,66		5,87	14,33		4,29	7,55	
5-10 cm									
FL	5,03 a A	4,59 a A	9,10	0,52 a A	0,47 a A	19,41	4,56 a A	3,98 a B	6,99
FR	3,36 bc A	3,07 b A	8,74	0,27 b A	0,17 b A	26,64	3,23 b A	3,00 bc A	12,49
PA	3,07 c A	3,14 b A	1,69	0,28 b B	0,47 a A	24,62	2,68 c A	2,72 c A	6,40
SSPNúcleos	3,58 b A	3,36 b A	3,63	0,43 a A	0,27 b B	17,72	3,18 b A	3,10 b A	3,64
CV (%)	7,72	6,91		16,15	27,52		9,09	6,70	

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey, e letra maiúscula na linha não diferem pelo teste t-LSD. FL: Floresta; FR: amora consorciada com plantas de cobertura na entrelinha; PA: Pastagem; SSPnúcleos: Sistema silvipastoril com núcleos arbóreos. CV: Coeficiente de variação em %.

4.4 CARBONO E NITROGÊNIO NOS MACROAGREGADOS E MICROAGREGADOS BIOGÊNICOS E FISIOGÊNICOS

De maneira geral, verifica-se maior proporção de C e N nos macroagregados em comparação aos microagregados. Tem se percebido que isso ocorre especialmente em solos tropicais de agroflorestas (PINHEIRO et al., 2021), principalmente quando a matéria orgânica é o principal agente cimentante e a hierarquia de agregação é confirmada (microagregados formam os macroagregados). Entre os tratamentos, a floresta é o uso do solo com maiores teores de C e N em macroagregados das duas vias de formação de agregados e nas duas profundidades avaliadas (Tabela 6). Para os microagregados, maior diferença entre os tratamentos ocorreu apenas na camada 5-10 cm, onde a floresta apresentou os maiores valores de C e N (Tabela 7).

Os maiores teores de C e N na área de floresta reforçam a condição original do solo e sem interferência antrópica, com constante aporte de resíduos vegetais oriundo da cobertura vegetal de Mata Atlântica. Devido a estas características, nos agregados da floresta há grande quantidade de detritos vegetais, raízes e hifas em decomposição, principalmente nos macroagregados (TISDALL; OADES, 1982). Raízes e hifas fúngicas, além de estarem presentes dentro dos agregados, circundam e produzem compostos orgânicos que atuam como estabilizantes dos agregados (BRONICK; LAL, 2005). A área de floresta apresenta os maiores teores de CO_{am} (Tabela 4), o qual está altamente associado à fração argila, sendo mais persistente no solo. E assim favorece a formação e estabilização dos microagregados, que se unem e formam os macroagregados, o que indica que teores de C e N estão bem protegidos dentro destes agregados. Além de altos teores de CO_{am}, a área de floresta também apresenta os maiores teores de glomalina total e facilmente extraível (Figura 6), o que indica a presença de fungos micorrizicos arbusculares neste ambiente. A glomalina é um pool de carbono recalcitrante que pode persistir por até 42 anos no solo, atuando de forma expressiva na proteção de agregados (RILLIG et al., 2001).

Em relação às demais áreas avaliadas, para os macroagregados biogênicos não foram verificadas diferenças para os teores de C na camada de 0-5 cm. Mas na camada de 5-10 cm, a área de SSPnúcleos apresentou teores de C superiores à pastagem e frutífera, que não

diferiram entre si. Para os macroagregados fisiogênicos, as áreas de pastagem e SSPnúcleos apresentaram teores de C superiores a área de frutífera na camada de 0-5 cm, porém não diferiram entre si para a camada de 5-10 cm (Tabela 6). Para os microagregados biogênicos e fisiogênicos, os teores de C nas áreas de pastagem, SSPnúcleos e frutífera não apresentaram diferenças entre si nas duas camadas avaliadas (Tabela 7).

Para os teores de N, nos macroagregados biogênicos verificaram-se maiores teores na área de SSPnúcleos em relação à pastagem, porém sem apresentar diferenças da área de frutífera, em ambas as camadas avaliadas. Para os macroagregados fisiogênicos, a área de SSPnúcleos também apresentou maiores valores de N em relação a frutífera, mas não diferiu da área de pastagem para a camada de 0-5 cm. E na camada de 5-10 cm, entre as áreas de frutífera, pastagem e SSPnúcleos não foram verificadas diferenças para os teores de N (Tabela 6). Em relação aos microagregados, na camada de 0-5 cm, os biogênicos não apresentaram diferenças entre as áreas de SSPnúcleos, pastagem e frutífera. Já para 5-10 cm, a área de SSPnúcleos apresentou os maiores teores de N em comparação a pastagem e frutífera. Para os microagregados fisiogênicos da profundidade 0-5 cm, a área de frutífera apresentou maiores teores de N em relação a pastagem, porém sem diferir de floresta e SSPnúcleos. Para a camada de 5-10 cm, não foram verificadas diferenças entre SSPnúcleos, pastagem e frutífera (Tabela 7).

Os maiores valores de C e N na área de SSPnúcleos em comparação as áreas de pastagem e frutífera podem ser decorrentes da maior diversidade vegetal neste sistema, somado a presença dos animais, o que acarreta em maiores adições de C e N no solo. Somado a isso, destaca-se que a área de SSPnúcleos também apresenta as maiores quantidades de MOL na camada de 0-5 cm (Figura 5). Na camada de 5-10 cm, as áreas de pastagem e SSPnúcleos apresentam maiores quantidade de MOL e glomalina facilmente extraível quando comparado com a área de frutífera (Figuras 5 e 6). A MOL favorece a formação de pontes de nucleação para a formação de microagregados no interior de macroagregados (GOLCHIN et al., 1994) e a glomalina favorece a estabilização desses agregados (RILLIG et al., 2001). Assim, há maior proteção do C e N no interior desses agregados. Estes resultados são corroborados pelos maiores índices de agregação (principalmente na camada de 5-10 cm)

observados nas áreas de SSPnúcleos e Pastagem em comparação a área de frutífera (Tabela 2).

Quando comparamos as diferenças entre as vias de formação dos agregados para cada tratamento, de maneira geral, quando foram evidenciadas diferenças, estas indicaram maiores teores de C e N nos macro e microagregados biogênicos em comparação aos fisiogênicos nas duas camadas avaliadas. Estas diferenças corroboram os maiores índices de agregação (DMP e DMG, Tabela 2) encontrados nos agregados biogênicos, o que evidencia maior proteção dos teores de C e N nestes agregados. Estes resultados são semelhantes aos de outros autores, que também encontraram maiores teores de C e N, assim como maiores índices de agregação, nos agregados biogênicos em comparação aos fisiogênicos (Pereria et al., 2021; Loss et al., 2017; Mergen Junior et al., 2019; Melo et al., 2019). Todavia também há trabalhos que não evidenciaram diferenças entre DMP e DMG de agregados biogênicos e fisiogênicos (BATISTA et al., 2013; DE LIMA et al., 2020; FERNANDES et al., 2017; BATISTA et al., 2013).

Para a relação C/N, entre os tratamentos, de maneira geral, a área de pastagem apresentou os maiores valores e a área de frutífera, os menores, para ambas as profundidades e tipos de agregados. Isto é decorrente da presença de leguminosas na frutífera e ausência dessas na pastagem. Quanto à relação C/N de macroagregados, a única diferença entre biogênicos e fisiogênicos foi verificada na área de floresta nas duas profundidades. Agregados biogênicos apresentam relação C/N maior que fisiogênicos, indicando que o C dos agregados biogênicos de floresta têm uma decomposição mais lenta, o que pode refletir nos maiores valores de DMP e DMG de agregados biogênicos comparados aos fisiogênicos (Tabela 2) e também nos maiores valores de COT e NT das vias de formação deste uso (Tabelas 4 e 5).

Tabela 6: Carbono (C), Nitrogênio (N) e relação C/N de macroagregados biogênicos (B) e fisiogênicos (F) de floresta (FL), Frutífera (FR), pastagem (PA), e Sistema silvipastoril com núcleos arbóreos (SSP) nas camadas 0-5 cm e 5-10 cm em Santa Rosa de Lima, SC.

MACROAGREGADOS ($8,00 > \varnothing \geq 0,25$ mm)									
Tratamento	C			N			C/N		
	B	F	CV(%)	B	F	CV(%)	B	F	CV(%)
0-5 cm									
FL	61,6 a A	45,9 a B	12,79	4,8 a A	3,9 a B	10,96	12,75 a A	11,77 b B	3,16
FR	37,8 b A	24,7 c B	11,18	3,3 bc A	2,2 c B	9,08	11,29 b A	11,04 c A	4,09
PA	38,8 b A	34,9 b A	15,58	2,9 c A	2,6 bc A	14,50	13,02 a A	13,27 a A	2,61
SSPNúcleos	46,7 b A	36,9 b B	11,76	3,6 b A	3,0 b B	9,31	12,72 a A	12,11 b A	3,49
CV(%)	12,91	13,38		10,65	11,84		3,50	3,14	
5-10 cm									
FL	46,9 a A	37,3 a B	11,67	3,9 a A	3,4 a A	8,86	11,79 ab A	10,90 b B	3,04
FR	28,4 c A	21,0 b B	14,52	2,5 bc A	1,9 b B	13,92	11,29 b A	10,91 b A	3,13
PA	29,2 c A	26,6 b A	11,48	2,3 c A	2,2 b A	13,28	12,35 a A	12,20 a A	3,03
SSPNúcleos	33,8 b A	26,0 b B	9,00	2,8 b A	2,2 b B	5,54	12,00 a A	11,31 b A	3,81
CV(%)	8,47	15,58		7,36	13,57				

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey, e letra maiúscula na linha não diferem pelo teste t-LSD. FL: Floresta; FR: amora consorciada com plantas de cobertura na entrelinha; PA: Pastagem; SSPnúcleos: Sistema silvipastoril com núcleos arbóreos. CV: Coeficiente de variação em %.

Tabela 7: Carbono (C), Nitrogênio (N) e relação C/N de microagregados biogênicos (B) e fisiogênicos (F) de floresta (FL), Frutífera (FR), pastagem (PA), e Sistema silvipastoril com núcleos arbóreos (SSP) nas camadas 0-5 cm e 5-10 cm em Santa Rosa de Lima, SC.

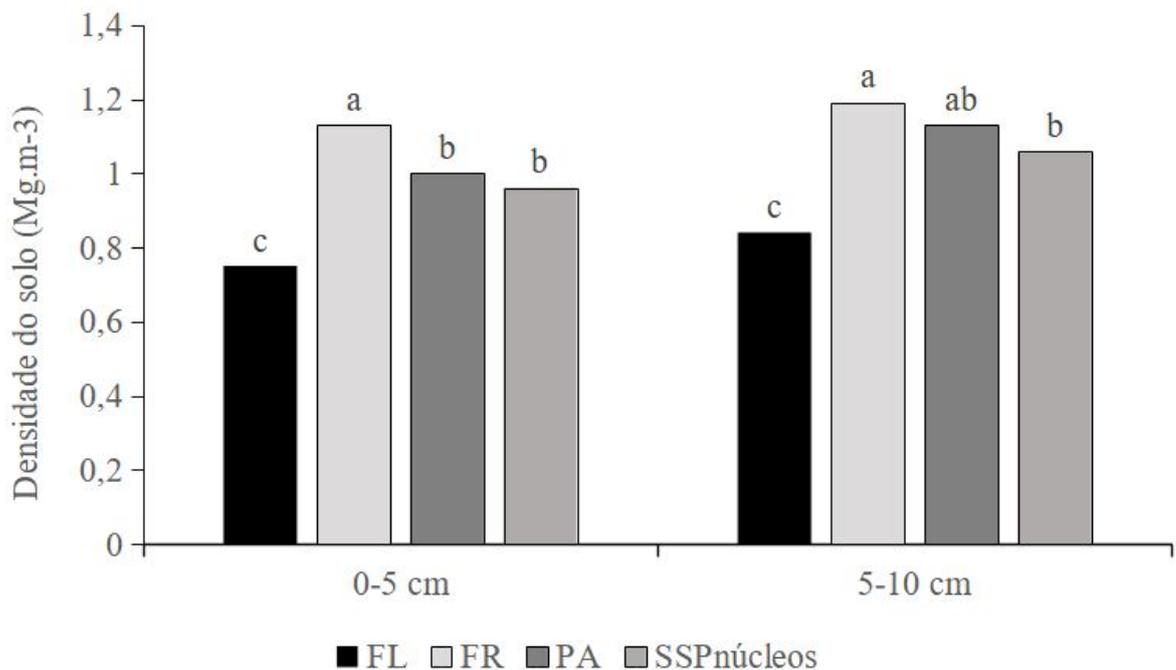
MICROAGREGADOS ($\varnothing > 0,25$ mm)									
Tratamento	C			N			C/N		
	B	F	CV(%)	B	F	CV(%)	B	F	CV(%)
0-5 cm									
FL	25,2 a A	23,8 a A	44,29	2,2 a A	2,3 ab A	35,08	10,62 bc A	10,00 c A	12,29
FR	26,8 a A	31,9 a A	24,05	2,5 a A	2,8 a A	22,40	10,44 c A	11,17 b A	5,82
PA	28,3 a A	23,0 a A	18,42	2,1 a A	1,8 b A	17,70	12,91 a A	12,52 a A	1,81
SSPNúcleos	30 a A	24,0 a B	11,85	2,6 a A	2,1 ab B	8,40	11,78 ab A	11,40 b A	3,49
CV(%)	25,66	27,36		20,72	25,78		7,55	5,36	
5-10 cm									
FL	37,9 a A	33,1 a A	14,98	3,0 a A	3,1 a A	8,89	12,28 a A	10,63 b B	7,09
FR	20,2 b A	21,2 b A	19,83	1,9 c A	1,9 b A	17,31	10,42 b A	10,82 b A	4,94
PA	21,9 b A	19,3 b A	9,84	1,8 c A	1,6 b A	8,92	12,07 a A	11,54 a A	3,49
SSPNúcleos	25,7 b A	20,3 b B	6,36	2,2 b A	1,9 b B	5,59	11,38 ab A	10,62 a B	1,52
CV(%)	13,76	15,03		8,57	12,72		5,46	3,79	

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey, e letra maiúscula na linha não diferem pelo teste t-LSD. FL: Floresta; FR: amora consorciada com plantas de cobertura na entrelinha; PA: Pastagem; SSPnúcleos: Sistema silvipastoril com núcleos arbóreos. CV: Coeficiente de variação em %.

4.5 DENSIDADE E TEXTURA DO SOLO

Os menores valores de densidade do solo (Ds) foram evidenciados na área de floresta e os maiores na área de frutífera, nas duas camadas avaliadas, mas sem diferir da área de pastagem na camada de 5-10 cm (Figura 4).

Figura 4: densidade do solo (Mg.m^{-3}) avaliada em duas profundidades em Santa Rosa de Lima, SC.



FL: Floresta; FR: Frutífera consorciada com plantas de cobertura na entrelinha; PA: Pastagem e SSPnúcleos: Sistema Silvopastoril com núcleos arbóreos no município de Santa Rosa de Lima, SC. Médias seguidas pela mesma letra não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey.

Devido ao adensamento natural do solo, a densidade tende a aumentar com o aumento da profundidade em todos os sistemas de usos avaliados (MARTINKOSKI et al., 2017), sendo isto evidenciado neste estudo. Os menores valores de Ds na área de floresta são decorrentes da ausência de atividade antrópica e pisoteio animal e somado a isso, maiores teores de COT e COam (Tabela 4). Com maiores teores de matéria orgânica há maior volume de poros, o que reflete em menores valores de Ds (OLIVEIRA et al., 2017).

Os maiores valores de Ds na área de frutífera é reflexo do manejo adotado nesta área e ao longo do cultivo da amoreira. Neste sistema já houve manejo convencional do solo com revolvimento, e atualmente, são necessárias entradas antrópicas consecutivas para poda e condução da amoreira, além da colheita. Os maiores valores de Ds nesta área corroboram com os resultados da avaliação qualitativa do solo realizada por Comin et al. (2020) nesta mesma área de estudo. Os autores verificaram que na área de frutífera há maior compactação do solo, o que está associado aos maiores valores de Ds encontrados. Os menores valores de MOL encontrados na área de frutífera, nas duas camadas avaliadas (Figura 5), também corroboram os maiores valores de Ds.

As áreas de pastagem e SSPnúcleos não diferiram entre si em relação aos valores de Ds. Porém, na camada de 5-10 cm, a área de pastagem apresentou valores de Ds iguais aos das áreas de SSPnúcleos e frutífera. O entorno do núcleo é uma área de intenso pisoteio devido ao fornecimento de sombra para os animais e isso poderia ocasionar em aumento dos valores de Ds no SSPnúcleos tornando-o similar à pastagem. Resultados semelhantes foram encontrados por Battisti et al. (2020). Os autores também não encontraram diferenças para os valores de Ds para SSPnúcleos e pastagem manejada com PRV. Porém, uma das hipóteses levantadas pelos autores era que não havia decorrido tempo suficiente da implantação do SSPnúcleos para que as diferenças de Ds fossem evidenciadas. Naquela época, o SSPnúcleos possuía 4 anos de implantação, e no presente trabalho, o SSPnúcleos já possui 9 anos de implantação, no entanto, o mesmo resultado ainda repete.

Em relação à textura do solo e dos agregados, todos apresentam textura média, com teores de argila variando entre 227 a 346 g kg⁻¹. A classe textural dos agregados biogênicos e fisiogênicos variou de franco a francoargilosa, enquanto no solo, a classe textural variou de franco a franco-argiloarenosa (Tabela 8).

O teor de argila parece não afetar os valores de DMP e DMG dos agregados do solo, pois os valores dos índices de agregação são muito similares (Tabela 2), e os teores de argila, em média, não ultrapassam 300 g kg⁻¹. Diferentemente dos solos que possuem elevados teores de argila (maior que 60%) e que apontam forte correlação entre agregação e argila (MELO et al., 2017). Neste estudo, as maiores variações entre areia, silte e argila são notadas no solo da

terra fina seca ao ar, que apresenta teores de areia proporcionalmente superiores aos encontrados nos agregados biogênicos e fisiogênicos. Isso evidencia a importância dos complexos organo-minerais (matéria orgânica e argila) para formação e estabilização de agregados do solo.

Tabela 8: Composição granulométrica realizado na terra fina seca ao ar e nos agregados biogênicos e fisiogênicos nos diferentes sistemas de uso do solo de Santa Rosa de Lima- SC.

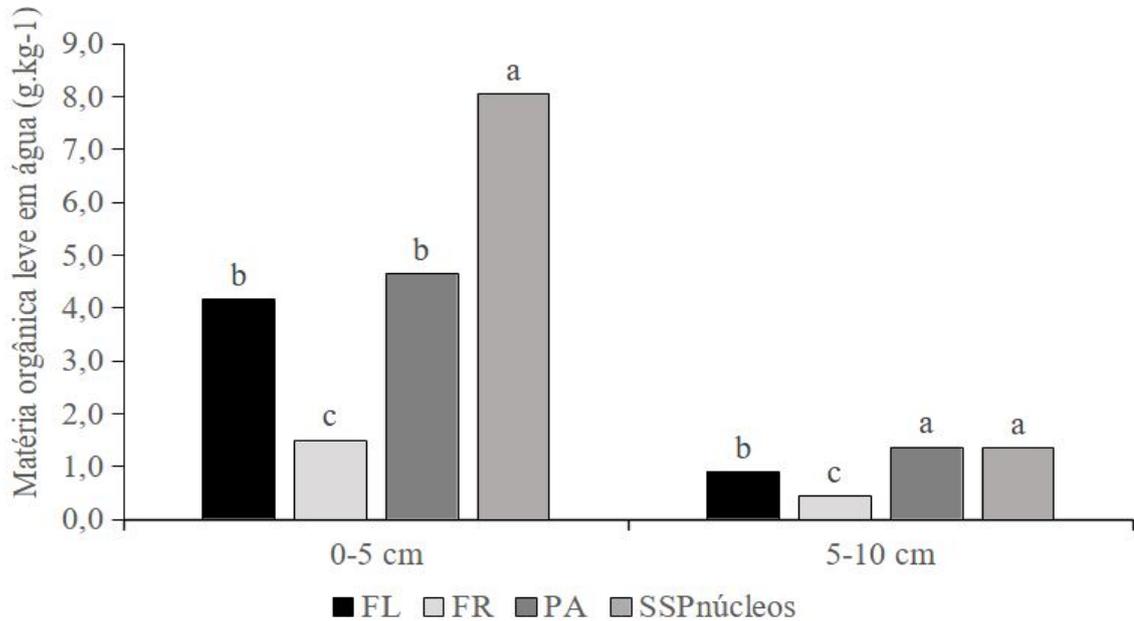
	areia (g.kg-1)	silte (g.kg-1)	argila (g.kg-1)	classe textural
0-5 cm				
Agregados biogênicos				
Floresta	287,1	366,9	346,0	Francoargilosa
Frutífera	384,4	365,5	250,1	Franco
Pastagem	450,8	289,0	260,1	Franco
SSpnúcleos	395,1	302,4	302,5	Francoargilosa
Agregados fisiogênicos				
Floresta	288,1	376,2	335,7	Francoargilosa
Frutífera	383,7	370,1	246,2	Franco
Pastagem	425,8	345,5	228,7	Franco
SSpnúcleos	371,3	303,3	325,4	Francoargilosa
Terra Fina Seca ao Ar				
Floresta	471,1	287,5	241,4	Franco- argiloarenosa
Frutífera	421,2	351,5	227,3	Franco
Pastagem	450,9	296,5	252,5	Franco
SSpnúcleos	461,0	272,5	266,5	Franco- argiloarenosa
5-10 cm				
Agregados biogênicos				
Floresta	305,4	363,6	331,0	

Frutífera	387,8	352,1	260,2	Franco
Pastagem	439,0	282,4	278,6	Francoargilosa
SSpnúcleos	354,6	329,3	316,1	Francoargilosa
Agregados fisiogênicos				
Floresta	300,5	370,2	329,2	Francoargilosa
Frutífera	394,6	336,2	269,2	Francoargilosa
Pastagem	416,7	294,4	288,9	Francoargilosa
SSpnúcleos	347,7	326,3	326,0	Francoargilosa
Terra Fina Seca ao Ar				
Floresta	441,4	322,7	235,9	Franco
Frutífera	416,5	349,2	234,4	Franco
Pastagem	417,4	318,9	263,7	Franco
SSpnúcleos	405,7	315,4	279,0	Francoargilosa

4.6 MATÉRIA ORGÂNICA LEVE EM ÁGUA

Os conteúdos de matéria orgânica leve (MOL) em água são proporcionalmente superiores na camada superficial do solo quando comparados com a camada de 5-10 cm. Isto é decorrente do aporte vegetal que é maior na superfície do solo, somado ao manejo que é feito em cada área avaliada. Na camada de 0-5 cm, SSPnúcleos apresenta maiores valores de MOL, seguido das áreas de pastagem e floresta, que não diferiram entre si, e a área de frutífera que apresentou os menores valores de MOL (Figura 5).

Figura 5: Matéria orgânica leve em água (g.Kg^{-1}) avaliada em duas profundidades em Santa Rosa de Lima, SC.



FL: Floresta; FR: Frutífera consorciada com plantas de cobertura na entrelinha; PA: Pastagem e SSPnúcleos: Sistema Silvopastoril com núcleos arbóreos no município de Santa Rosa de Lima, SC. Médias seguidas pela mesma letra não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey.

Os maiores valores de MOL no SSPnúcleos indicam que sistemas integrados de produção tendem a apresentar maiores valores da fração leve da matéria orgânica em comparação a sistemas menos diversificados (BIELUCZYK et al., 2017). No SSPnúcleos há constante deposição de material orgânico ao solo oriundo dos núcleos arbóreos e da pastagem. É possivelmente no SSPnúcleos o material aportado ao solo está persistindo por mais tempo devido a menor taxa de decomposição em função da diminuição de temperatura dentro e no entorno do núcleo (DENIZ et al., 2019). Estes autores encontraram no SSPnúcleos as menores médias de temperatura de ar e solo, sendo que no verão a temperatura do ar foi $31,21^{\circ}\text{C}$, 3 graus menor que na pastagem sem árvores, e no outono, $19,47^{\circ}\text{C}$, 8 graus a menos que na pastagem sem árvores.

Na área de frutífera há cobertura de leguminosas na entrelinha, que decompõe mais rapidamente que as gramíneas, como no caso da pastagem e do SSPnúcleos. Além disso, em função do histórico de uso desta área (uso de subsolador), pode ser que não houve tempo

suficiente ainda para que haja aumento no conteúdo de MOL nesse sistema. Guareschi, Pereira e Perin (2012) verificaram que em SPD com diferentes idades de implantação, a MOL só aumentou após 20 anos de implantação do SPD quando foi alcançado um valor comparado à mata nativa do local.

Em profundidade, a semelhança dos valores de MOL para SSPnúcleos e pastagem indica que a MOL é predominantemente oriunda das gramíneas forrageiras, com destaque para o sistema radicular. Uma pastagem, conforme seu manejo pode apresentar condições péssimas, em degradação como encontrado por Guareschi, Pereira e Perin (2012) ou pode estar quase próximo de uma área de referência (COMIN; BOURSCHEID; SOUZA, 2015). No caso do presente estudo, a pastagem que é manejada em PRV, reflete seu bom manejo preservando e aumentando o conteúdo de MOL em profundidade quando comparado à frutífera e floresta. Resultados semelhantes foram constatados por Loss et al., (2012b), que encontraram maiores massas de MOL na profundidade de 5-10 cm no solo que envolvia pastagem (integração lavoura pecuária) em comparação ao solo sob sistema plantio direto. E os autores também evidenciaram que os teores de MOL na área de integração lavoura pecuária não diferiram da área referência (Cerrado). Desta forma, o reflexo do manejo no sistema radicular que está em constante renovação reflete nestes maiores valores de MOL e neste caso, justifica a semelhança dos valores de MOL com a floresta na camada superficial do solo, assim como supera os valores de MOL em profundidade.

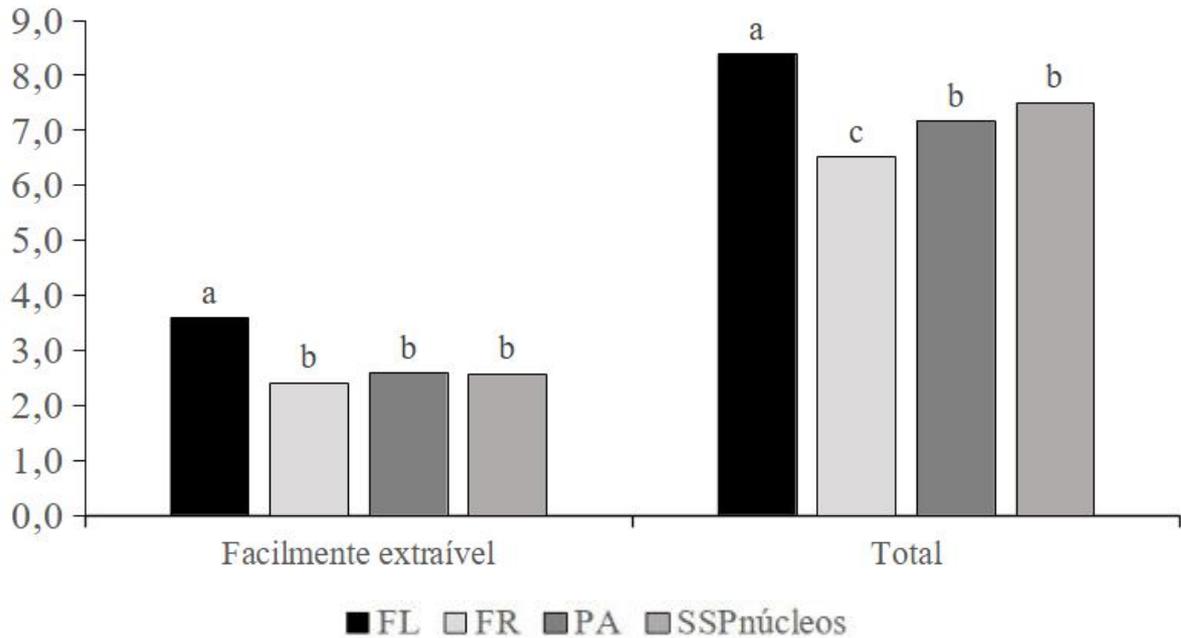
Os maiores valores de MOL nas áreas de SSPnúcleos e pastagem, em comparação a floresta e frutífera, refletem nos maiores valores de DMP e DMG (Tabela 2), assim como nos maiores valores de macroagregados (Tabela 3), principalmente na camada de 5-10 cm.

4.7 GLOMALINA

A Floresta é o uso da terra com maior teor de glomalina no solo tanto para glomalina facilmente extraível (3,59 mg/g solo) quanto para glomalina total (8,38 mg/g solo). Os demais tratamentos não diferem quanto a glomalina facilmente extraível, porém quanto à total sim. A

área de frutífera é o tratamento com menor valor de glomalina total. As áreas de pastagem e SSPnúcleos não diferiram entre si (Figura 6).

Figura 6: Glomalina (mg.g^{-1}) avaliada na profundidade de 0-10 cm do solo em Santa Rosa de Lima, SC.



FL: Floresta; FR: Frutífera consorciada com plantas de cobertura na entrelinha; PA: Pastagem e SSPnúcleos: Sistema Silvipastoril com núcleos arbóreos no município de Santa Rosa de Lima, SC. Médias seguidas pela mesma letra não diferem ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey.

Rillig et al., (2001) avaliaram a persistência, ou melhor, turnover da glomalina em solos tropicais e concluíram que isso pode variar de 6 a 42 anos. Muito mais do que as próprias hifas que produzem estas substâncias. Como a floresta é o uso em que não há atividade antrópica e é um remanescente de floresta original pode ter preservado melhor a glomalina. Esse resultado reflete no conteúdo de carbono no solo promovendo um estoque de carbono mais recalcitrante em torno de 4 a 5 % do C total (RILLIG et al., 2001). Possivelmente, os maiores teores de glomalina na área de floresta contribuiu para os altos teores de C e N nos agregados da floresta, principalmente macroagregados, onde houve maiores valores destes em relação aos demais sistemas avaliados.

Resultados semelhantes aos deste estudo foram relatados por Silva et al., (2016), em que também verificaram que a floresta apresentou maiores teores de glomalina do que outros

usos do solo com pastagem e agricultura anual. E, Beutler et al. (2016) também verificaram que em vegetação nativa (Cerrado), que o teor de glomalina facilmente extraível foi maior que em pastagem e integração lavoura-pecuária.

Os maiores valores de glomalina extraível nas áreas de SSPnúcleos e pastagem em comparação a área de frutífera podem ser reflexos da menor perturbação do solo nas áreas com pastagens em comparação a área de frutífera, que teve e ainda tem interferência antrópica. Esses maiores valores de glomalina extraível nas áreas de pastagem e SSPnúcleos corroboram com as melhores condições físicas (Tabelas 2 e 3) encontradas nos agregados biogênicos e fisiogênicos desses sistemas.

5 CONCLUSÃO

A maior proporção de agregados biogênicos na área de pastagem está relacionada à presença de gramíneas e do manejo em pastoreio racional voisin.

Os agregados biogênicos apresentam maior estabilidade (maiores índices de agregação, DMP e DMG) que os agregados fisiogênicos em todos os sistemas avaliados, exceto na pastagem, onde não houve diferença entre os tipos de agregados.

O revolvimento inicial do solo, ausência de gramíneas e o preparo para implantação das plantas de cobertura e da amora na área de frutífera influenciam negativamente a formação de agregados do solo e a distribuição da massa de macro, meso e microagregados, acarretando em menores teores de glomalina facilmente extraível e massa de matéria orgânica leve em água, com consequentes maiores valores de densidade do solo.

O uso de leguminosas na área de frutífera e SSPnúcleos influencia positivamente nos maiores valores de nitrogênio e carbono totais do solo, assim como do carbono e nitrogênio associado aos minerais de silte e argila, em comparação a área de pastagem, sem leguminosas, nas duas vias de formação de agregados.

Comparando as áreas de pastagem e SSPnúcleos, de maneira geral, o SSPnúcleos aumenta os teores de C e N totais e das frações granulométricas, principalmente nos agregados biogênicos. E quando comparamos as vias de formação, os biogênicos se diferenciam dos fisiogênicos apenas no SSPnúcleos, indicando melhor qualidade química.

REFERÊNCIAS

ALVES, F. V.; LAURA, V. A.; ALMEIDA, R. G. **Sistemas Agroflorestais: A Agropecuária Sustentável**. EMBRAPA, Brasília: 2015. 208p

ALEGRE, J. C.; CASSEL, D. K. Dynamics of soil physical properties under alternative systems to slash- and-burn. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 58, n. 1, p. 39–48, 1996.

ALMEIDA, B. G. de et al. **Densidade do Solo**. In: EMBRAPA (Ed.). Manual de Métodos de Análise de Solo. 3. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2017. p. 573.

ANDERSON, J.M.; INGRAM, J.S.I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. Wallingford: CAB International, 1989. 171p

ANDRADE, L.R. M et al., **Cobertura de Solos em Pomares de Maracujazeiro**. In: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. EMBRAPA CERRADOS, 2002. 24 p.

ASSIS, C. P et al. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** [online]. 2006, v. 41, n. 10 [Acessado 13 Setembro 2021] , pp. 1541-1550. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006001000012>>. Epub 21 Dez 2006. ISSN 1678-3921. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006001000012>.

BALIN, N. M. et al. Frações Da Materia Orgânica , Índice De Manejo Do Carbono E Atributos Físicos De Um Latossolo Vermelho Sob Diferentes Sistemas De Uso. **Revista Scientia Agraria**, v. 18, p. 85–94, 2017.

BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R. Mechanisms of carbon sequestration in soil aggregates. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 23, n. 6, p. 481–504, 2004.

BATISTA, I. et al. Caracterização dos agregados em solos sob cultivo no Cerrado, MS. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1535–1548, 2013.

BATISTA, I. et al. Efeito Do Manejo Do Solo Na Formação E Propriedades Físicas E Químicas De Agregados Do Solo. In: IV International Seminar on Statistics with R, 2019, Niterói. IV Seminário Internacional de Estatística com R, 2019.

BATTISTI, L. F. Z. et al., Soil chemical attributes in a high biodiversity silvopastoral system Atributos químicos do solo em um sistema silvipastoril de alta biodiversidade. **Acta Agron**, v. 67, n. 0120–2812, p. 451–458, 2018.

BATTISTI, L. F. Z. et al. Atributos Físicos Do Solo Em Um Sistema Silvopastoril Com Núcleos Arbóreos No Estado De Santa Catarina. **Holos**, v. 6, n. 36, 2020.

BAUMERT, V. L. et al. Root Exudates Induce Soil Macroaggregation Facilitated by Fungi in Subsoil. **Frontiers in Environmental Science**, v. 6, n. November, p. 1–17, 2018.

BEUTLER, S. J. et al. Edaphic Attributes Of A Crop-Livestock Integration System In The Cerrado Biome. **Revista Caatinga**, v. 29, p. 892-900, 2016.

BIELUCZYK, W. et al. Matéria orgânica leve sob sistemas integrados de produção agropecuária no bioma Mata Atlântica. In: XXXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Belém, Pará - Brasil. **Anais...** Belém, Pará - Brasil: 2017.

BOLINDER, M.A. et al. The response os soil quality indicators to conservation management. **Canadian Journal Soil Science**, 79:37-45. 1999.

BORGES, W. L. B.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Impact of crop-livestock-forest integration on soil quality. **Agroforestry Systems** v. 93, n. 6, p. 2111–2119, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10457-018-0329-0>>

BRADY, Nyle C.: **Elementos da Natureza e propriedades dos solos**. 3a Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 686p.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, v. 124, n. 1–2, p. 3–22, 2005.

BRUZZESE, E. The biology of blackberry in south-eastern Australia. **Plant Protection Quarterly**, v. 13, n. 4, p. 160–162, 1998.

CAMARGO, F. F. et al. Comunidades de Minhocas em diferentes tipos de uso do solo localizados na Área de Proteção Ambiental da Serra da Mantiqueira- MG. In: 5 Encontro latino-americano de ecologia e taxonomia de oligoquetas, 1, Anais...2015.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate Soil Organic-Matter Changes across a Grassland Cultivation Sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 3, p. 777–783, 1992.

CARAMINAN, L. M.; FRUET, J. G. W.; GASPARETTO, N. V. L. Estabilidade de Agregados de Latossolos em Floresta Estacional Semidecidual, Paraná, Sul do Brasil. **GEOGRAFIA (Londrina)**, v. 30, n. 1, p. 439, 2020.

CARNEIRO, M. A. . et al. Micorriza arbuscular em espécies arbóreas e arbustivas nativas de ocorrência no sudeste do brasil. **CERNE**, v. 4, p. 129–145, 1998.

CARTER, M. R. Researching structural complexity in agricultural soils. **Soil and Tillage Research**, v. 79, n. 1, p. 1–6, 2004.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade de agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 527–538. 1998

CHESTERS, G.; ATTOE, O. J.; ALLEN, O. N. Soil Aggregation in Relation to Various Soil Constituents. **Soil Science Society of America Journal**, v. 21, n. 3, p. 272–277, 1957.

CERVELATI, K. F.; et al. Efeito de diferentes sistemas de pastejo em atributos físicos do solo. **PUBVET, Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 5, n. 1, p. 67–75, 2011.

CHÁVEZ, L. F.; et al. Diversidade metabólica e atividade microbiana no solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob intensidades de pastejo. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1254–1261, 2011.

CLIMATE-DATA, Clima Santa Rosa de Lima, 2019 Disponível em < <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/santa-catarina/santa-rosa-de-lima-313611/> > Acesso em Nov 2019.

COELHO, M. R. et al. Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas. In: Embrapa Solos-Artigo em anais de congresso (ALICE). MOREIRA, FM S; CARES, JE; ZANETTI, R.; STUMER, SL O ecossistema o solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. Lavras, MG: UFLA, 2013., 2013.

COMIN, J.; BOURSCHEID, C.; SOUZA, M. Avaliação da arborização de pastagens em Pastoreio Racional Voisin por meio de indicadores quantitativos de qualidade do solo. In: Cadernos de Agroecologia, 3, Belém, Pará - Brasil. **Anais...** Belém, Pará - Brasil: 2015. Disponível em: <<http://www.aba-agroecologia.org.br/revistas/index.php/cad/article/view/17556>>.

COMIN, J. J. et al. Avaliação participativa da qualidade do solo com indicadores qualitativos em diferentes sistemas de uso do solo. In: XI Congresso Brasileiro de Agroecologia, v15, n2, **Anais...**2020.

COSTA, O. V. et al. Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de tabuleiro costeiro no sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1137–1145, 2009.

COSTA, C. et al. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1311–1321, 2012.

CRAESMEYER, K. C. et al. Utilização da sombra por vacas lactantes sob sistema Voisin Silvopastoril no sul do Brasil. In: Agroecol, Dourados - MS. **Anais...** Dourados - MS: 2016.

DANIEL, O. Leaf-litter consumption and assimilation by juveniles of *Lumbricus terrestris* L. (Oligochaeta, Lumbricidae) under different environmental conditions. **Biology and Fertility of Soils**, v. 12, n. 3, p. 202–208, 1991.

DA SILVA, R. F. et al. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 697–704, 2006.

DAY, P.R.. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A. **Methods of soil analysis. American Society of Agronomy**, 1: 545-566, 1965

DEL GALDO, et al. 2003. Assessing the impact of land-use change on soil C sequestration in agricultural soils by means of organic matter fractionation and stable C isotopes. **Global Change Biol.** 9: 1204–1213

DENIZ, M. et al. High biodiversity silvopastoral system as an alternative to improve the thermal environment in the dairy farms. **International Journal of Biometeorology**, v. 63, n. 1, p. 83–92, 2019.

DENIZ, M., et al. Microclimate and pasture area preferences by dairy cows under high biodiversity silvopastoral system in Southern Brazil. **International Journal of Biometeorology** 64, 1877–1887, 2020.. doi:10.1007/s00484-020-01975-0

DE VASCONCELOS, R. F. B. et al. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 309-316, 2010.

DE KONING, G.H.J., VELDKAMP, E., LÓPEZ-ULLOA, M., 2003. Quantification of carbon sequestration in soils following pasture to forest conversion in northwestern Ecuador. **Global Biogeochemical Cycles** 17, n/a–n/a.. doi:10.1029/2003gb002099

DE LIMA, S. S. et al. Biogenic and physicogenic aggregates under different crops with black oat in Nova Friburgo, Brazil. **Revista Caatinga**, 33(2), 299–309, 2020. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n203rc>

DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, SSSA, 1994. p.1-20.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 1997, 212p.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.

EMBRAPA. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira.** – Brasília, DF : Embrapa, 2018. 212 p. Disponível em < [Trajetória da agricultura brasileira - Portal Embrapa](#) > Acesso em 27 Jul 2021.

EMBRAPA; **Sobre o Sistema Silvistoril. Transferência de Tecnologia Florestal.** Disponível em <<https://www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia/sistema-silvistoril/tema> > Acesso em 19 Set 2019.

FAO **Cattle ranching and deforestation.** In: The Livestock Policy Brief. [s.l: s.n.]3p. 1–8.

FAUSTINO, L. L.; MARCIANO, C. R.; ANDRADE, G. R. P. Physical quality of soil under secondary forest, leguminous trees, and degraded pasture. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, p. 1–10, 2021.

FEIJOO; QUINTERO; FRAGOSO; . Earthworm Communities in Forest and Pastures of the Colombian Andes. **Caribbean Journal of Science**. 42. 301-310. 2006

FERNANDES, J. C. F. et al. Characterization of Biogenic, Intermediate and Physicogenic Soil Aggregates of Areas in the Brazilian Atlantic Forest. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 1, p. 59–67, 2017.

FERREIRA, C.R..et al. Diversity of the edaphic macrofauna in areas managed under no-tillage for different periods. **Semina: Ciências Agrárias** 40 (2), 599–610, 2019

FERREIRA, C.R., et al. Dynamics of soil aggregation and organic carbon fractions over 23 years of no-till management. **Soil and Tillage Research**, 198, 2020 <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104533>

GAZOLLA, P. R. et al. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem , sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 693–704, 2015.

GOLCHIN, A. et al. Soil structure and carbon cycling. **Australian Journal of Soil Research**, v. 32, n. 5, p. 1043–1063, 1994.

GUARDIOLA, M. D. E. et al. Chemical and physical fractions of soil organic matter under various management regimes in Roraima, Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 2419–2432, 2017.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo o cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 909–920, 2012.

HARRIS, R. F.; CHESTERS, G.; ALLEN, O. N. Dynamics of Soil Aggregation. **Advances in Agronomy**, v. 18, n. C, p. 107–169, 1966.

HIGUCHI, M.I.G.,; HIGUCHI, N., **A floresta amazônica e suas múltiplas dimensões: uma proposta de educação ambiental** / Editores: Maria Inês Gasparetto Higuchi, Niro Higuchi. --- 2. ed. rev. e ampl. --- Manaus : [s.n.], 2012. 424 p.

HIRAKURI, M. H. et al. Sistemas de Produção: conceitos e definições no contexto agrícola. **Embrapa Soja**, p. 24, 2012.

HOWLETT, D.S., et al. Soil Carbon Storage in Silvopastoral Systems and a Treeless Pasture in Northwestern Spain. **Journal of Environmental Quality** 40, 825–832, 2011 doi:10.2134/jeq2010.0145

IBGE, Censo Agropecuário 2017 www.ibge.gov.br

IBGE, Censo Agropecuário 2017. Resultados preliminares. Disponível em https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo_agro/resultadosagro/estabelecimentos.html Acesso em: 01 Mai.2019 às 16:45

JENNY, Hans. **Factors of soil formation: a system of quantitative pedology**. Courier Corporation, 1994.

JOUQUET, P. et al. Relevance and limitations of biogenic and physiocogenic classification: A comparison of approaches for differentiating the origin of soil aggregates. **European Journal of Soil Science**, v. 60, n. 6, p. 1117–1125, 2009.

JUNIOR, C. A. . et al. Gênese de agregados sob diferentes sistemas de uso do solo. In: XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1, **Anais...**2013.

JUNQUEIRA, A.. C. et al. Sistemas agroflorestais e mudanças na qualidade do solo em assentamento de reforma agrária. **Revista Brasileira de Agroecologia**,v. 8, n. 1, p. 102–115,

2013. Disponível em: <[http://orgprints.org/24446/1/JUNQUEIRA, Alexandre da Costa_Sistemas agroflorestais e mudanças na qualidade do solo.pdf](http://orgprints.org/24446/1/JUNQUEIRA,Alexandre_da_Costa_Sistemas_agroflorestais_e_mudancas_na_qualidade_do_solo.pdf)>.

KANEDA, S. et al. Soil temperature and moisture-based estimation of rates of soil aggregate formation by the endogeic earthworm *Eisenia japonica* (Michaelsen, 1892). **Biology and Fertility of Soils**, v. 52, n. 6, p. 789–797, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00374-016-1119-3>>.

KER, J.C. et al.(Eds.). Pedologia: fundamentos. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2012. p. 81-145.

KRETZER, S. G. Influência do Sistema Silvipastoril com Núcleos de Alta Biodiversidade na Dinâmica e Microclima Forrageiro. 2019. 90f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

LANGE, A. et al. Degradação Do Solo E Pecuária Extensiva No Norte De Mato Grosso. **Nativa**, v. 7, n. 6, p. 642, 2019.

LAPIG, Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento. Atlas das Pastagens Brasileiras. Disponível em: [Lapig - Atlas Digital das Pastagens Brasileiras \(pastagem.org\)](http://lapig.org) Acesso em 22/03/2021.

LAVEE, H.; SARAH, P.; IMESON, A. C. Aggregate stability dynamics as affected by soil temperature and moisture regimes. **Geografiska Annaler**, v. 78, n. 1, p. 73–82, 1996.

LAVELLE, P. et al. Soil aggregation, ecosystem engineers and the C cycle. **Acta Oecologica**, v. 105, n. April, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103561>>.

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

LINTEMANI, M.G., et al. Long fallows allow soil regeneration in slash-and-burn agriculture. **J Sci Food Agric**, 100: 1142-1154, 2020 <https://doi.org/10.1002/jsfa.10123>

LOSS, A. et al. Particulate organic matter in soil under different management systems in the Brazilian Cerrado. **SOIL RES**, v. 50, p. 685-693, 2012a

LOSS, A. et al. Carbon, nitrogen and natural abundance of $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ of light-fraction organic matter under no-tillage and crop-livestock integration systems. **Acta Scientiarum. Agronomy (Online)**, v. 34, p. 465-472, 2012b

LOSS, A., et al. Distribuição dos agregados e carbono orgânico influenciados por manejos agroecológicos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, 31(3), 523–528, 2009. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v31i3.322>

LOSS, A. et al. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** [online]. 2011, v. 46, n. 10 [Acessado 23 agosto 2021], pp. 1269-1276. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000022>>. Epub 16 Dez 2011. ISSN 1678-3921. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000022>.

LOSS, A. et al. Atributos físicos e químicos do solo em sistema de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoril em Santa Tereza, ES. **Bioscience J.**, v. 30, n. 5, p. 1347–1357, 2014a.

LOSS, A. et al. Soil fertility, physical and chemical organic matter fractions, natural ^{13}C and ^{15}N abundance in biogenic and physicogenic aggregates in areas under different land use systems. **Soil Research**, v. 52, n. 7, p. 685–697, 2014b.

Loss, A. et al. Frações Granulométricas E Oxidáveis De Matéria Orgânica Sob Diferentes Sistemas De Uso Do Solo No Paraná , Brasil. V. 30, N. 1, P. 43–54, 2014c.

LOSS, A. et al. Carbono Orgânico Total E Agregação Do Solo Em Sistema De Plantio Direto Agroecológico E Convencional De Cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online]. 2015, v. 39, n. 4 [Acessado 30 Outubro 2021], pp. 1212-1224. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140718>>. ISSN 1806-9657. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140718>.

LOSS, A. et al. 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**, v. 166, p. 52–58, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2016.10.007>>.

LU, X.; LU, X.; LIAO, Y. Effect of Tillage Treatment on the Diversity of Soil Arbuscular Mycorrhizal Fungal and Soil Aggregate-Associated Carbon Content. **Frontiers in Microbiology**, v. 9, p. 1–10, 2018.

LUCENA, C.C; CARVALHO, J.E.B; XAVIER, F.A.S . **Manejo de coberturas vegetais em pomares de citros nos tabuleiros costeiros**. EMBRAPA Cruz das Almas – BA 2017.

MACHADO, J. C. V. Recuperação De Solo Em Processo De Arenização Com O Uso De Espécies Vegetais Em Pomar De Amoreira-Preta. 2012. Dissertação (Mestrado em Agrobiologia) Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria 2012.

MAIA, S. M. F. et al. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p. 837–848, 2006.

MELO, T. R. de et al. Biogenic aggregation intensifies soil improvement caused by manures. **Soil and Tillage Research**, v. 190, n. April, p. 186–193, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2018.12.017>>.

MERGEN JUNIOR, C. A. et al. Atributos químicos em agregados biogênicos e fisiogênicos de solo submetido à aplicação com dejetos suínos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v. 14, n. 1, p. 1–8, 2019.

MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; VIEIRA, L. L. Uso da terra e a qualidade microbiana de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 37, n. 6, p. 1678–1688, 2013.

MONTOYA, L. J.; MEDRADO, M. J. S.; MASCHIO, L. M. de A. Aspectos de arborização de pastagens e de viabilidade técnica-econômica da alternativa silvipastoril. (E. CNPF, Ed.) In: SEMINARIO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA REGIAO SUL DO BRASIL, Colombo - PR. **Anais...** Colombo - PR: 1994.

MOROTA, F. K. et al. Manejo De Plantas Daninhas Em Frutíferas Tropicais: Abacaxizeiro, Bananeira, Coqueiro, Mamoeiro E Maracujazeiro. **Revista Brasileira de Herbicidas**, 19(1), 132–153, 2020 <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=471747524003>

NANZER, M. C. et al. Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 136–145, 2019.

NETO, F. V. da C. et al. Atributos Químicos E Físicos Do Solo Em Áreas Sob Diferentes Coberturas Florestais E Pastagem Em Além Paraíba - MG. **Ciencia Florestal**, v. 28, n. 1, p. 13–24, 2018.

NICHOLS, K. A., & WRIGHT, S. F. (2005). Comparison of glomalin and humic acid in eight native u.s. Soils. **Soil Science**, 170(12), 985–997. doi:10.1097/01.ss.0000198618.06975.3c

OADES, J. M.; WATERS, A. G. Aggregate hierarchy in soils. **Australian Journal of Soil Research**, v. 29, n. 6, p. 815–825, 1991.

OLIVEIRA, B. S. et al. Atributos Biológicos do Solo em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, na Região Amazônica. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**, v. 23, n. 5, p. 448–456, 2017.

OREFICE, J. et al. Soil and understory plant dynamics during conversion of forest to silvopasture, open pasture, and woodlot. **Agroforestry Systems**, v. 91, n. 4, p. 729–739, 2017.

PAVAN, M. A. et al. **Manual de análises químicas de solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR, 1992.

PEDROTTI, A., JUNIOR, A.V.M, **Avanços em Ciência do Solo: A física do solo na produção agrícola e qualidade ambiental**. São Cristóvão: Editora UFS, Aracaju:Fapitec, 2009. 209p.

PEREIRA, M. G. et al. Biogenic and physicogenic aggregates: formation pathways, assessment techniques, and influence on soil properties. **Revista brasileira de ciencia do solo**, v.45, 2021.

PETINARI, R. A.; TERESO, M. J. A.; BERGAMASCO, S. M. P. P. A importância da fruticultura para os agricultores familiares da região de Jales-SP. **Revista Brasileira de Fruticultura** [online]. 2008, v. 30, n. 2 [Acessado 16 Dezembro 2021] , pp. 356-360. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000200015>>. Epub 14 Out 2008. ISSN 1806-9967. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000200015>.

PEZARICO, C. R. et al. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 56, n. 1, p. 40–47, 2013.

PINHEIRO MACHADO, L.C **Pastoreio racional Voisin: tecnologia agroecológica para o terceiro milênio**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2004. 310 p.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. et al. **Arborização de pastagens com espécies florestais madeireiras: Implantação e Manejo**. Colombo - PR: Embrapa Florestas, 2009.

PULLEMAN M. M. et al. Earthworms and management affect organic matter incorporation and microaggregate formation in agricultural soils. **Appl Soil Ecol.** 2005;29:1-15. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2004.10.003>

REZENDE, N. S. et al. Percepção do bem-estar animal na pecuária familiar de leite em Unaí, Minas Gerais. **Holos**, 1, 1–12, 2021 <https://doi.org/10.15628/holos.2021.10374>

RODRIGUES DE FREITAS, T. et al Pecuária Familiar No Município De Caçapava Do Sul/Rs: Aspectos Históricos, Sociais E Produtivos. **Holos**, 6, 1–18, 2020 <https://doi.org/10.15628/holos.2020.9865>

RILLIG, M. C. et al. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. **Plant and Soil**, v. 233, n. 2, p. 167–177, 2001.

RILLIG, M. C. et al. Mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi increases soil water repellency and is sufficient to maintain water-stable soil aggregates. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 7, p. 1189–1191, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.03.027>.

RILLIG, M. C.; MULLER, L. A. H.; LEHMANN, A. Soil aggregates as massively concurrent evolutionary incubators. **ISME Journal**, v. 11, n. 9, p. 1943–1948, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/ismej.2017.56>.

RÖMBKE, J.; SCHMIDT, P.; HÖFER, H. The earthworm fauna of regenerating forests and anthropogenic habitats in the coastal region of Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 8, p. 1040–1049, 2009.

RODRIGUES, C. A. G. et al. Fertilidade do solo de pastagens com brachiaria sob diferentes - XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO -. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 1, **Anais...**2011.

ROSIER, C. L. et al. Intraradical protein and glomalin as a tool for quantifying arbuscular mycorrhizal root colonization. v. 52, 2008.

ROZANE, D. E. et al. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um latossolo vermelho distrófico, sob diferentes manejos. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 1, p. 24–32, 2010.

SALTON, J. C. et al . Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa , v. 32, n. 1, p. 11-21, Feb. 2008 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000100002&lng=en&nrm=iso>. access on 06 May 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000100002>.

SALTON, J. et al. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** [online]. 2011, v. 46, n. 10 [Acessado 15 Setembro 2021] , pp. 1349-1356. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000031>>. Epub 16 Dez 2011. ISSN 1678-3921. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000031>.

SANTOS, B. Dos et al. Frações de nitrogênio particulado e mineral em solo manejado sob pastoreio racional voisin. In: VI Congresso Latino-Americano X CBA, Brasília - DF, Brasil. **Anais...** Brasília - DF, Brasil: 2018.

SANTOS, A. C. dos. **A agrofloresta agroecológica: um momento de síntese da agroecologia, uma agricultura que cuida do meio ambiente.** Boletim Eletrônico. Curitiba-PR. DESER, 2007. Disponível em <<http://www.deser.org.br/documentos/doc/Agrofloresta.pdf>> Acesso em Out. 2019

SCHROEDER, D. *Bodenkunde in Stichworten (Solos - Fatos e Conceitos)*. 4. ed. Unterageri, Suíça: Ferdinand Hirt, 1984.

SCHMITT FILHO, A. L. et al. Payment for Ecosystem Services in Santa Rosa de Lima: Innovative practices to leverage social change and environmental recovery 4th Convención Internacional AGRODESARROLLO 2016 & 11th International Workshop “Trees and Shrubs in Livestock Production”. .2016

SCHMITT FILHO, A.L.; FARLEY, J. 2019. Transdisciplinary case approaches to the ecological restoration of rainforest ecosystems. In: Felix Fuders and Pablo Donoso (Eds.), *Ecological economic and socio ecological strategies for forest conservation - with special focus on Chile and Brazil: A transdisciplinary approach*. Springer International Publishing AG. Zug Switzerland.

SILVA, I. .; MIELNICZUK, J. *Sistemas De Cultivo E Características Do Solo Afetando A Estabilidade De Agregados*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 311–317, 1998.

SILVA, I. F; NETO, S. E. A; KUSDRA, J.F; *Biological activity of soils under systems of organic farming, agroforestry and pasture in the Amazon*. **Revista Ciência Agronômica**, v 45, n.3 , p. 427-432. 2014.

SILVA, C. F. da et al. Arbuscular mycorrhizal fungi: Composition, length extraradical mycelium and glomalin in areas of Atlantic forest, Rio De Janeiro. **Ciencia Florestal**, v. 26, n. 2, p. 419–433, 2016.

SILVA, A. S. Atributos microbiológicos e físicos de um latossolo sob integração lavoura-pecuária no arenito caiuaá. 2017. 116 f. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Estadual de Londrina, Londrina 2017.

SILVA, J. C. N. et al. Aggregation, carbon, and total soil nitrogen in crop-livestock-forest integration in the Eastern Amazon. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 12, p. 837–842, 2018.

SILVA, A. de A. et al. Estimativas de biomassa e carbono em sistema silvipastoril com núcleos arbóreos (PRVnúcleos). In: Cadernos de Agroecologia - **Anais do VI CLAA, X CBA e V SEMDF**, 2236–7934, Anais...2018. Disponível em: <<http://cadernos.abaagroecologia.org.br/index.php/cadernos/article/download/1742/1153>>.

SILVA NETO, L. de F. da S. et al. Atributos físicos e químicos de agregados pedogênicos e de coprólitos de minhocas em diferentes classes de solos da Paraíba. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 34, n. 6, p. 1365–1371, 2010.

SILVA NETO, E. . S.; PEREIRA, M. .; FERNANDES, J. C. . Gênese e estabilidade de agregados sob diferentes coberturas vegetais, Pinheiral -rj. In: II Simpósio de Pesquisa em Mata Atlântica, **Anais...2012**.

SILVA NETO, E. C. da S. et al. Aggregate formation and soil organic matter under different vegetation types in Atlantic Forest from Southeastern Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 6, p. 3927–3940, 2016.

SIMIONI, G. **Biodiversidade De Aves: A Importância Do Componente Arbóreo Em Sistemas Pastoris**. 2019. 2019.

SOUZA, E. D. et al. **Matéria orgânica do solo em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária**, 2018. .

SYLVESTER-BRADLEY et al, Levantamento quantitativo de microrganismos solubilizadores de fosfatos na rizosfera de gramíneas e leguminosas forrageiras na Amazônia **Acta Amazonica** 12(1): 15-22. 1982.

TEIXEIRA, T. R.; MONTEIRO, M. DE A. (2020). Narrativas Rurais: O Estado E a Pecuária Nas Vozes Dos Agricultores Familiares Da Região De Marabá, Pa. Somanlu - **Revista de Estudos Amazônicos**, 20(2), 93–104. <https://doi.org/10.29327/233099.20.2-7>

TONUCCI, R. G. et al. Soil Carbon Storage in Silvopasture and Related Land-Use Systems in the Brazilian Cerrado. **Journal of Environmental Quality**, v. 40, n. 3, p. 833–841, 2011.

TORRES, J. L. R. et al. Atributos físicos de um latossolo vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online]. 2015, v. 39, n. 2 [Acessado 29 Outubro 2021], pp.428-437. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140597>>. ISSN 1806-9657. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140597>.

UBERTI, A. A. A. Santa Catarina : Proposta De Divisão Territorial Em Regiões. 2005. Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

Valor da Produção Agropecuária de 2020 é o maior da história. Ministério da Agricultura e do Abastecimento 15/01/2021. Assuntos>Notícias>2021>Janeiro. Disponível em: Valor da Produção Agropecuária de 2020 é o maior da história — Português (Brasil) (www.gov.br) Acesso em: 22/03/2021.

VELASQUEZ, E. et al. This ped is my ped: Visual separation and near infrared spectra allow determination of the origins of soil macroaggregates. **Pedobiologia**, v. 51, n. 1, p. 75–87, 2007.

VENTURIN, L.; GONÇALVES, G. R. Sistemas Agroflorestais: produção de alimentos em harmonia com a natureza. Centro Ecológico e Governo do Estado Rio Grande do Sul, 2014.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743–755, 2009.

VEZZANI, F. M. Solos e os serviços ecossistêmicos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 673–684, 2015.

YODER, R. E. A Direct Method of Aggregate Analysis of Soils and a Study of the Physical Nature of Soil Erosion Losses. **Journal of American Society of Agronomy**, Vol. 28, No. 5, 1936, pp. 337-351.

WEBSTER, E. et al. Improved Pastures Support Early Indicators of Soil Restoration in Low-input Agroecosystems of Nicaragua. **Environmental Management**, p. 201–212, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00267-019-01181-8>>.

WENDLING, Beno et al. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005.

WRIGHT, S.F., UPADHYAYA, Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi **Soil Science**, 161 (1996), pp. 575-586