

Luiz Fernando Zin Battisti

**NÚCLEOS ARBÓREOS EM PASTAGENS: EFEITOS SOB OS
ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-Graduação em Agroecossistemas
da Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do grau de
Mestre em Agroecossistemas.

Orientador: Prof. Abdon L. Schmitt
Filho

Coorientador: Prof. Arcângelo Loss

Florianópolis
2017

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

Battisti, Luiz Fernando Zin
NÚCLEOS ARBÓREOS EM PASTAGENS: EFEITOS SOB OS
ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO / Luiz
Fernando Zin, Battisti ; orientador, Abdon L.
Schmitt Filho, coorientador, Arcângelo Loss, 2017.
61 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias,
Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas,
Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Agroecossistemas. 2. Voisin silvipastoril com
núcleos. 3. Pastoreio Racional Voisin. 4. Nucleação.
5. Carbono Orgânico. I. Schmitt Filho, Abdon L.,
II. Loss, Arcângelo . III. Universidade Federal de
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
Agroecossistemas. IV. Título.

RESUMO

No cenário atual restam apenas 12% da cobertura original do Bioma Mata Atlântica. A demanda por produtos agropecuários a fim de abastecer o crescimento populacional motivou grande parte desta mudança de cobertura e uso do solo. As áreas de pastagem não naturais ocupam 20% da área original do bioma. Agravando ainda mais este cenário, grande parte destas pastagens são manejadas extensivamente, sistema convencional que promove a diminuição gradativa da qualidade do solo e do ambiente. Em contrapartida, a implantação do Pastoreio Racional Voisin (PRV) e de Sistemas Silvipastoris (SSP), podem de certa forma mitigar parte deste impacto diminuindo a pressão sobre os remanescentes florestais, promovendo o bem-estar animal e a estruturação e fertilidade do solo. Diante disto, este trabalho avaliou os efeitos da implantação de um sistema híbrido de manejo das pastagens entre PRV e SSP, o Sistema Voisin Silvipastoril com Núcleos Arbóreos (PRVnúcleos). Foram avaliados atributos físicos (densidade e agregação) e químicos (fertilidade, carbono e nitrogênio). Para tal, o PRVnúcleos foi comparado com as áreas de PRV sem árvore (PRV), além de áreas de floresta secundária (F2) e floresta primária (F1). Os resultados evidenciaram que os núcleos arbóreos do tratamento PRVnúcleos apresentam um potencial enriquecedor da qualidade do solo, influenciando positivamente nos atributos físicos e químicos do solo e igualando a capacidade da floresta primária em acúmulo de carbono orgânico total (COT) em profundidade (20-40 cm). Além disso, o PRVnúcleos favoreceu o acúmulo de COT (5-40 cm) em comparação ao PRV, pois há maiores teores de Nitrogênio total, provavelmente oriundo da fixação biológica da *mimosa scabrella* e urina dos animais que se concentram mais no entorno núcleos. O sistema Voisin Silvipastoril com Núcleos Arbóreos, além de gerar sombra e incrementar a biodiversidade do agroecossistema, se mostrou uma ferramenta para melhorar os atributos físicos e químicos dos solos elevando a qualidade destes na direção aos de floresta, que se degradados, demoram para se recuperar como evidenciado no tratamento F2.

Palavras-chaves: Voisin silvipastoril com núcleos. Pastoreio Racional Voisin. Nucleação. Carbono Orgânico. Nitrogênio. Agregação do Solo. Sistema Silvipastoril.

ABSTRACT

Today, only 12% of original Atlantic Forest's coverage remains. The demand for agricultural products in order to supply the population growth motivated much of this deforestation. Non-natural pasture areas occupy 20% of the original area of the biome. Further aggravating this scenario, a large part of these pastures are handled by extensive grazing management, a conventional system that promotes a gradual decrease in soil and environmental quality. On the other hand, the implementation of Voisin management intensive grazing (PRV) and Silvopastoral Systems (SSP) can partially alleviate some of this impact by reducing pressure on forest remnants, promoting animal welfare and soil structure and fertility. In view of this, this work evaluated the effects promoting by an implantation of a pasture management hybrid system between PRV and SSP, the Voisin Silvopastoral System with Arboreal Nuclei (PRVnúcleos). Physical attributes (density and aggregation) and chemicals (fertility, carbon and nitrogen) were evaluated. For this, the PRVnúcleos was compared to the PRV areas without tree (PRV), besides areas of secondary forest (F2) and primary forest (F1). The results showed that the tree nuclei of the PRVnúcleos treatment presented an enriching potential of the soil quality, positively influencing the physical and chemical attributes of the soil and matching the capacity of the primary forest to total organic carbon accumulation (TOC) in depth (20-40 Cm). In addition, the PRV nuclei favored the accumulation of TOC (5-40 cm) in comparison to the PRV, because there are higher levels of total Nitrogen, probably coming from the biological fixation by *mimosa scabrella* and animals urine that concentrate more time at the surrounding nuclei. The Voisin Silvopastoral system with Arboreal Nuclei, in addition to generating shade and increasing the biodiversity of the agroecosystem, proved to be a tool to improve the soil quality, raising the quality of the soils towards the forest, which if degraded, take time to recover As evidenced in F2 treatment.

Keywords: Voisin silvopastoral with nuclei, Voisin management intensive grazing, nucleation, organic carbon, nitrogen, soil aggregation, silvopastoral system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização do município de Santa Rosa de Lima, SC.....	23
Figura 2- Localização e delimitação das áreas de estudo avaliadas.	24
Figura 3 - Sistema Voisin Silvipastoril em núcleos em Santa Rosa de Lima	25
Figura 4- Sistema Voisin Silvipastoril com núcleos em Santa Rosa de Lima	26
Figura 5 - Croqui dos núcleos do Voisin Silvipastoril em núcleos (PRVnúcleos).	26
Figura 6 - Área de Voisin Silvipastoril em núcleos (PRVnúcleos).....	27
Figura 7 - Área de Pastoreio Racional Voisin sem árvore (PRV).	28
Figura 8 - Área de floresta primária (F1) na parte superior direita da foto	29
Figura 9 - Croqui esquemático das áreas amostradas, com destaque para a disposição dos pontos coletados.	30
Figura 10 Densidade do solo (Mg m^{-3}) encontrada nos diferentes sistemas de uso do solo em Santa Rosa de Lima, SC.....	34
Figura 11 - Valores médios de Carbono orgânico total (COT) do solo até 40 cm nos diferentes sistemas de uso do solo em Santa Rosa de Lima, SC.	39
Figura 12 - Valores médios de nitrogênio total (Nt) do solo até 40 cm em PRVnúcleos, PRV, floresta secundária (F2) e floresta primária (F1).	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição textural do solo (g.kg^{-1}) encontrada nos diferentes sistemas de uso do solo em Santa Rosa de Lima, SC.....	33
Tabela 2 - Diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados encontrados nos diferentes sistemas de uso do solo em Santa Rosa de Lima, SC.	36
Tabela 3 - Índices de Sensibilidade para o parâmetro diâmetro médio geométrico (ISDMG) de agregados em relação a área referência (floresta primária – F1) nos diferentes sistemas de uso do solo em Santa Rosa de Lima, SC.....	38
Tabela 4 Atributos químicos do solo nos diferentes sistemas de uso do solo em Santa Rosa de Lima, SC.	43

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. OBJETIVOS.....	21
1.1.1 Objetivo Geral.....	21
1.1.2Objetivos Específicos.....	21
1.1.3Hipótese.....	21
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
2.1 ÁREA DE ESTUDO: LOCALIZAÇÃO, CLIMA E SOLO.....	23
2.2 AMOSTRAGEM.....	29
2.3 ANÁLISES REALIZADAS.....	30
2.3.1 Análises físicas.....	30
2.3.2 Análises químicas.....	31
2.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	32
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
3.1 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO.....	33
3.1.1 Composição granulométrica do solo.....	33
3.1.2 Densidade do solo.....	34
3.1.3 Agregação do solo.....	35
3.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	38
3.2.1 Teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) do solo.....	38
3.2.2 Fertilidade do solo.....	42
4. CONCLUSÃO.....	47
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

1. INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica, bioma situado no litoral brasileiro, cobre uma área equivalente a 150 milhões de hectares. Devido sua abrangência longitudinal, latitudinal e atitudinal, é composto por diversos tipos de ecossistemas, que favorecem o desenvolvimento da biodiversidade e do endemismo. A diversidade do bioma é marcada por mais de 20.000 espécies de plantas, 261 espécies de mamíferos, 688 espécies de aves, 200 espécies de répteis e 280 espécies de anfíbios, equivalente à 8% da biodiversidade mundial (SILVA & CASTELETI, 2003). A mata atlântica é reconhecida como um dos “hotspots” da biodiversidade mundial (GILLESPIE et al., 2012). Apesar disto, o bioma encontra-se sob franca ameaça, pois restam apenas 12% de sua área original (RIBEIRO et al., 2009; SOS MATA ATLÂNTICA, 2014). Nos últimos 500 anos, grandes áreas deste bioma foram desmatadas para o estabelecimento da agricultura (FAO, 2010), com o intuito de atender à crescente demanda para produção de commodities agrícolas (MARTINELLI et al., 2010; TOLLEFSON, 2010). Esta mudança na paisagem, de floresta para agricultura, tem promovido um cenário de degradação ambiental comprometendo as funções e os serviços ecossistêmicos (MATSON, 1997; TILMAN, 2001; ZHANG et al., 2017)..

A Avaliação do Ecossistema do Milênio (MEA, 2005a) define serviços ecossistêmicos como os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas. Estes são classificados em quatro diferentes categorias: serviços de provisão, tais como produção de alimento; serviços de regulação, como controle de inundações e doenças; serviços culturais, como benefícios culturais, espirituais e de recreação; serviços de suporte, como ciclagem de nutrientes. Já os desserviços ambientais, segundo Zhang (2007), são processos comprometem as funções e os serviços ecossistêmicos culminando na redução da produtividade ou aumento do custo de produção. Entre estes encontram-se a contaminação e comprometimento da disponibilidade de água, perda de habitat para conservação da biodiversidade, escoamento de nutrientes, assoreamento, e intoxicação de espécies não-alvo por agrotóxicos gerados pelo manejo agrícola convencional. O fluxo de serviços e ecossistêmicos está diretamente atrelado ao manejo do sistema agrícola na escala local quanto à biodiversidade, composição e funcionamento da paisagem rural e circundante (TILMAN, 1999).

No cenário atual do desmatamento, as áreas de pastagem são responsáveis pela ocupação de 20% da área originalmente coberta pela mata atlântica (MAPBIOMAS, 2017). Estas áreas tem apresentado produções marginais devido o manejo inadequado (EPPING, 2003), já que que maioria destas áreas pastoris são utilizadas extensivamente, integradas ao sistema de produção caracterizado como semi-confinamento tradicional (ALVEZ et al., 2014). Esse sistema é caracterizado por pastagens manejadas extensivamente, dependente da produção anual de silagem de milho como principal alimento para o gado (BAUER, 2009; MAURER et al., 2009). O manejo extensivo das áreas pastoris tem promovido a dependência de fertilizantes solúveis, mobilização anual dos solos para a reforma das pastagens, assim como do cultivo monocultural de grãos para a produção de silagem (ALVEZ et al., 2014; MELADO, 2007).

Deste modo, o uso extensivo das áreas pastoris têm promovido um cenário de degradação ambiental (SOANE, 1994; TREIN, 1991), pois tem reduzido a macroporosidade e a infiltração da água no solo, e aumentando a resistência do solo à penetração de raízes (TREIN, 1991; WAGGER, 1989; GAGGERO, 1998; TANNER; MAMARIL, 1959). Em decorrência desses fatores tem-se o aumento da densidade do solo, menor desenvolvimento de macroagregados e diminuição da condutividade hidráulica (CARDOSO et al., 2011), acarretando na contínua diminuição da produtividade (BINDRABAN e VELDE, 2012).

Em uma escala maior, o manejo vigente dos agroecossistemas pastoris tem gerado grandes passivos ambientais inviabilizado importantes funções ecossistêmicas (ZHANG et al., 2007). A contaminação dos corpos de água, o assoreamento dos rios, a erosão do solo, a perda da biodiversidade e a progressiva degradação dos recursos naturais tem se caracterizado como alguns destes passivos ambientais (MALDONADO, 2006). Estas externalidades socioambientais da agricultura moderna vêm gerando agroecossistemas insustentáveis (FARLEY et al., 2012; SCHMITT FILHO et al., 2013), já que a agricultura é consumidora e provedora destes serviços (HEAL, et al., 2002). Lavoras sob sistemas convencionais, que buscam a maximização da produção, um serviço ecossistêmico de provisão, tem debilitado os serviços de regulação, suporte e até cênicos (MEA, 2005b; POWER, 2010; TILMAN, 1999). Deste modo, a produção agroecológica pode ser uma alternativa para garantir a demanda por alimentos para as futuras gerações, sem comprometer as funções e serviços ecossistêmicos dos principais biomas terrestres (BADGLEY et al., 2007; POWER, 2010).

Uma solução para estes problemas gerados pelo manejo convencional das áreas pastoris é a utilização do sistema Voisin ou Pastoreio Racional Voisin (PRV), um sistema que tem promovido a resiliência aos agroecossistemas (ALVEZ, 2012). Baseado na divisão da pastagem em parcelas ou piquetes, o PRV foi desenvolvido na França por André Voisin (VOISIN, 1961). Segundo Murphy (1987), o mesmo pressupõe a manutenção e elevação da fertilidade do solo, a maximização do uso de recursos disponíveis na propriedade, a maior rentabilidade, a produção de alimentos sem uso de agrotóxicos e o respeito ao bem-estar animal. Através do PRV, a produtividade animal e a capacidade de suporte do sistema podem aumentar significativamente, e a incidência de pragas diminuir sem a necessidade do aumento da área de pastagem (ALVEZ et al., 2014).

De acordo com Pinheiro Machado (2004) e Sório (2003), o PRV se caracteriza como um manejo agroecológico do agroecossistema pastoril, onde os recursos utilizados são provenientes da fotossíntese e biocenose do solo, não comprometendo a provisão dos serviços ecossistêmicos (SURDI, 2011). O PRV favorece os atributos edáficos através do desenvolvimento uniforme e periódico das raízes das forrageiras, promovendo a descompactação do solo, o desenvolvimento de macroagregados e a infiltração da água, através das galerias abertas pelo crescimento radicular (SOLDÁ et al., 2014; COMIN et al., 2016). O efeito da concentração periódica do rebanho em cada piquete origina o que Savory (1998) chamou de efeito do rebanho. A alta carga instantânea periódica tem aumentado a fertilidade do solo e promovido o desenvolvimento da biocenose no sistema (BARDGETT et al., 1998) com conseqüente o acúmulo de matéria orgânica e estoques de carbono (PINHEIRO MACHADO, 2004; SEÓ, 2015)

Entretanto, apesar do Pastoreio Voisin (PRV) ser uma ótima alternativa, a utilização de piquetes necessários para viabilizar o tempo de repouso para as forrageiras, impede o livre acesso do rebanho às áreas sombreadas da propriedade nos horários mais quentes do dia. Este fato gerou uma demanda por sombra nas propriedades com PRV da Encosta da Serra Geral Catarinense, promovendo uma mudança na percepção dos agricultores em relação aos sistemas silvipastoris, anteriormente rejeitados (EPPING, 2003). Sistemas silvipastoris representam uma alternativa, pois se caracterizam pela combinação de animais, forragem e árvores em uma mesma pastagem (BERNARDINO & GARCIA, 2010; REIS et al., 2009). Diante deste cenário, desde 2011 o Laboratório de Sistemas Silvipastoris & Restauração Ecológica da UFSC (LASS/UFSC) vem desenvolvendo trabalhos com o Sistema

Voisin Silvipastoril com Núcleos Arbóreos, em propriedades rurais que já possuíam o PRV implantado (SCHMITT et al., 2013).

O Sistema Voisin Silvipastoril com Núcleos Arbóreos foi idealizado pelo Prof. Abdon Schmitt Filho com colaboração do Prof. Alfredo Fantini (LASSre) e Engenheiro Agrônomo Carlos Michael Marcelino que inspirados na Teoria de Nucleação como princípio sucessional de recuperação de áreas florestais (REIS & KAGEYAMA, 2003) desenharam o sistema estruturado nos núcleos arbóreos ou ilhas de alta diversidade (Schmitt Filho et al., 2016). Em 2011 foi implantada a primeira propriedade piloto em São Martinho-SC. Em seguida o sistema foi implantado em três outras propriedades de agricultores familiares em Santa Rosa de Lima para avaliação de variáveis biofísicas do sistema.

O PRVnúcleos se caracteriza por ser um sistema silvipastoril no qual o elemento arbóreo está inserido em núcleos de 25 m² cada dispostos na área de pastagem (Figuras 3, 4, 5, 6). Estes 40 núcleos devidamente cercados estão distribuídos equidistantemente dentro de cada hectare de pastagem. A área de todos os núcleos somados em um hectare totaliza o equivalente à 10% da área total, ou seja, 40 núcleos de 25 m² por hectare (Schmitt Filho et al., 2013; Schmitt Filho et al., 2016). O PRVnúcleos é um sistema silvipastoril que busca promover a conservação ambiental, utilizando somente espécies nativas da Mata Atlântica, bioma no qual o sistema está inserido. Esta prática origina um substancial incremento na biodiversidade sem comprometer a produtividade agrícola. Ademais, o PRVnúcleos aumenta o potencial conservacionista pois é constituído por mais de 50 espécies distintas de arvores nativas por hectare, diversas espécies de meliponíneos, gramíneas e leguminosas forrageiras prioritariamente nativas (Schmitt Filho et al., 2013).

O principal atrativo dos sistemas silvipastoris, para as condições climáticas encontradas no Brasil, é o conforto térmico promovido aos animais através da sombra das árvores, promovendo bem-estar aos animais em comparação com áreas de pastagem não arborizadas. Este ambiente mais agradável ao animal resulta em uma produção de leite mais estável, visto que o estresse térmico causado pela exposição ao sol nos horários mais quentes tem causado 10 a 20 % de redução da produção (FISHER et al., 2008). Este fator pode tornar a implantação destes sistemas economicamente viáveis (CRAESMEYER, 2015). Além da sombra, os sistemas silvipastoris podem gerar outros serviços ecossistêmicos de provisão, tais como lenha, carvão, madeira, palanques, suplementação animal e frutos (AGUILAR et al., 2001;

PULIDO et al., 2001). Harvey (2004) também notou que sistemas silvipastoris podem melhorar a conectividade dos fragmentos florestais adjacentes às pastagens, além de melhorar o microclima

Outros benefícios característicos gerados pelos sistemas silvipastoris são: o aumento dos estoques de carbono, proporcionado pelas árvores (MAY et al., 2005; SILVA et al., 2016), a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, através do aporte de matéria orgânica e o controle da erosão e potencialização da ciclagem de nutrientes (STEENBOCK et al., 2013). Assim os nutrientes são captados pelas raízes das árvores nos estratos mais profundos do solo, e disponibilizados através das folhas que caem à superfície do solo (CARVALHO et al., 2001) aumentando a fertilidade do solo (RAMOS, 2013; REIS et al., 2009). Além disso, o sistema radicular das árvores junto ao das forrageiras promove uma maior estruturação física do solo e biodiversidade da microbiota. Através da ampliação da complexidade do sistema, da biomassa vegetal aportada (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009) e da biocenose (Pinheiro Machado, 2002) ocorrerá um aumento da produção forrageira e capacidade de suporte do sistema (PAGIOLA, et al., 2007).

Neste sentido, é válido ressaltar que os manejos culturais e do solo influenciam diretamente na sua qualidade, sendo possível comprovar isto através da avaliação da qualidade do solo, comparando sistemas produtivos distintos, conservacionistas e convencionais em um mesmo tipo de solo (KARLEN et al., 1997; VEZZANI e MIELNICZUK, 2009). A qualidade do solo pode ser descrita como a capacidade do solo em exercer suas funções dentro dos limites do ecossistema e do uso da terra sustentando o desenvolvimento biológico, mantendo a qualidade ambiental e promovendo a saúde das plantas, animais e homens (DORAN e SAFLEY, 1998). Tal avaliação é realizada através dos indicadores de qualidade do solo (IQS), os quais abrangem as propriedades físicas, químicas e biológicas. Estes IQS são usados para avaliação comparativa entre práticas de manejo determinando assim a sustentabilidade do sistema. Alguns exemplos de indicadores de qualidade do solo são: densidade, estabilidade dos agregados e fertilidade, com especial ênfase para a matéria orgânica do solo (DORAN; SAFLEY, 1998; KARLEN et al., 1997; VEZZANI e MIELNICZUK, 2009).

A densidade do solo (D_s) indica o grau de compactação do solo, além das alterações na estrutura e porosidade expressa através da quantidade de massa de solo seco por unidade de volume ($Mg\ m^{-3}$). Bourscheid (2015) encontrou em um sistema que integra PRV com

sistema silvipastoril os seguintes valores de Ds. Na profundidade de 0–5 cm foi determinado uma Ds de 1,04 Mg m⁻³ em área de PRV sem árvore, 0,93 Mg m⁻³ em área de PRV com árvores e 0,62 Mg m⁻³ em área de mata nativa concluindo que as árvores influenciaram positivamente na Ds.

A estabilidade dos agregados expressa o estado da estrutura do solo. Esta evidencia a capacidade das forças coesivas da estrutura dos agregados suportarem forças de ruptura aplicadas ao mesmo. Já a distribuição do tamanho dos agregados manifesta o grau em que as partículas estão agregadas (KEMPER e ROSENAU, 1986). Loss et al. (2014) avaliaram o diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados em solo argiloso em áreas de pastagem e floresta no Paraná. Esta pesquisa evidenciou maiores valores de DMP para a pastagem (4,132 mm) em relação à floresta secundária (3,934 mm) para a profundidade de 5-10 cm. Os autores relataram que Índices de DMP maiores em áreas com pastagem são resultados do sistema radicular denso e bem desenvolvido das gramíneas forrageiras que exploram um maior volume de solo, acarretando em maior aporte de matéria orgânica via rizodeposição e morte de suas raízes. Este fato gera um posterior aumento da agregação do solo.

A quantificação dos teores de matéria orgânica do solo, por meio do carbono orgânico total (COT), assim como do nitrogênio total (NT), expressam a quantidade de carbono e nitrogênio presentes no solo. Ambos estão relacionados à fertilidade do solo, pois o desequilíbrio nos teores de C e N no solo leva à degradação da matéria orgânica, a qual é fonte de nutrientes, acarretando em um declínio na produtividade (CARDOSO et al., e 2010). Um agroecossistema bem manejado mantém níveis equilibrados de C e N no solo (FRAZÃO et al., 2010). Moura (2015), estimou um superávit de 1.112 toneladas de CO₂ ou 303 toneladas de C sequestrado/propriedade/ano em propriedades com PRV, o que favorece a ciclagem de nutrientes e a estruturação física do solo.

Em função do inimaginável impacto das práticas agrícolas no antropoceno passa a ser imperativo a avaliação de sistemas de produção inovadores que viabilizem uma agricultura economicamente competitiva enquanto regeneradora das funções e serviços ecossistêmicos. Na pecuária a urgência é ainda maior especialmente quando se trata de alternativas reestruturadoras do sistema solo-planta.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o efeito do Sistema Voisin silvipastoril com núcleos arbóreos (PRVnúcleos) na dinâmica dos atributos físicos e químicos do solo.

1.1.2 Objetivos Específicos

a) Avaliar o efeito do Sistema Voisin silvipastoril com núcleos arbóreos sobre a **densidade e agregação do solo** em comparação com outros sistemas pastoris e áreas de floresta.

b) Avaliar o efeito do Sistema Voisin silvipastoril com núcleos arbóreos sobre a **fertilidade do solo** em comparação com outros sistemas pastoris e áreas de floresta.

1.1.3 Hipótese

O Sistema Voisin silvipastoril com núcleos arbóreos promove um cenário de atributos físicos e químicos do solo superior aos sistemas pastoris sem os elementos arbóreos, aproximando-se das características de um solo de floresta primária.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO: LOCALIZAÇÃO, CLIMA E SOLO

A pesquisa foi conduzida em Santa Rosa de Lima, município localizado na região Sul do estado de Santa Catarina, Brasil (28° 02' 27" Sul, 49° 07' 44" Oeste) (Figura 1). A cidade está em média a 235 metros de altitude com uma variação em suas cotas altimétricas de 200 a 1.200 metros. Está inserida na zona climática Subtropical Úmido (Cfa) de Köeppen, caracterizado por ser clima subtropical, com verão quente. As temperaturas são superiores a 22°C no verão, com mais de 30 mm de chuva no mês mais seco. A precipitação anual total é de 1.400 a 1.600 mm. A vegetação original é composta pela Floresta Ombrófila Densa e alguns pontos Floresta Ombrófila Mista. Hoje, florestas secundárias prevalecem no município e os remanescentes de floresta primária existentes encontram-se principalmente junto a Serra Geral, em locais de difícil acesso (UBERTI, 2005). Segundo dados do IBGE (2015), o município possui cerca de 2.122 habitantes com a grande maioria agricultores familiares residindo no meio rural.

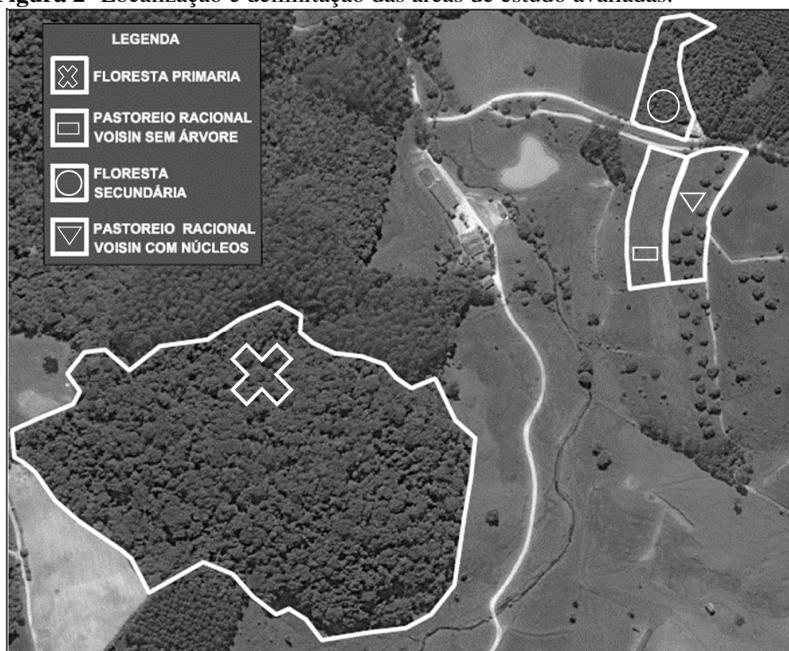
Figura 1- Localização do município de Santa Rosa de Lima, SC.



Fonte: Raphael Lorenzeto de Abreu, 2015.

A área de estudo está situada em uma propriedade com solo predominante é o Cambissolo Háplico (EMBRAPA, 2013) na qual a principal atividade realizada é a produção de leite (Figura 2). Foram selecionados quatro usos distintos do solo: Floresta primária (F1), pastoreio racional voisin sem árvore (PRV), voisin silvipastoril com núcleos arbóreos (PRVnúcleos) e Floresta secundária (F2), todas posicionadas no terço médio da paisagem, onde predomina o mesmo solo (Cambissolo Háplico), apresentando relevo ondulado (12-15% de declividade) e altitude de aproximadamente 240 metros.

Figura 2- Localização e delimitação das áreas de estudo avaliadas.



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2016.

O tratamento 1 (T1), Sistema Voisin Silvipastoril com Núcleos Arbóreos (PRVnúcleos) foi implantado em 2012 (Figuras 3, 4, 5, ,6) apresentando 5 piquetes em uma área de 9.800 m². Inicialmente foi feita uma calagem na área para elevação do pH entre 5,5 a 6,0 (CQFS RS/SC, 2004). A pastagem é polifítica, com dominância da gramínea missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis*) e *Hemarthria altissima*, manejada no sistema de Pastoreio Racional Voisin a 15 anos.

Na primeira fase de implantação do sistema, cada núcleo tinha inicialmente 8 mudas, sendo quatro bracatingas (*Mimosa scabrella*), representando as espécies pioneiras (de rápido crescimento), alocadas próximas aos quatro vértices e quatro mudas de espécies melíferas e frutíferas posicionadas entre as bracatingas. As espécies pioneiras são tucaneira (*Citharexylum myrianthum*), pau jacaré (*Piptadenia gonoacantha*), ingá (*Inga marginata*), pitangueira (*Eugenia uniflora*), araçá-mulato (*Eugenia multicostata*), entre outras. Em 2014, com o desenvolvimento das mudas e formação de sub-bosque, foram plantadas 8 mudas de 15 cm de palmeira-juçara (*Euterpe edulis*), na face sul das bracatingas, além de espécies climácicas no centro dos núcleos, como o pau-brasil (*Caesalpinia echinata*), paineira (*Chorisia speciosa*) entre outras. O sistema Voisin silvipastoril com núcleos arbóreos (PRVnúcleos) preconiza uma biodiversidade de pelo menos 50 espécies arbóreas por hectare.

Figura 3 - Sistema Voisin Silvipastoril em núcleos em Santa Rosa de Lima



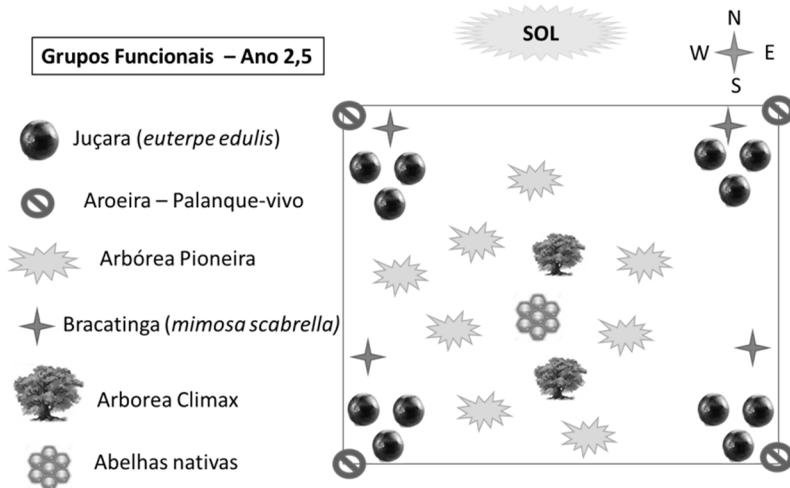
Fonte: André Almeida 2016.

Figura 4- Sistema Voisin Silvipastoril com núcleos em Santa Rosa de Lima



Fonte: Jorge Filho, 2016.

Figura 5 - Croqui dos núcleos do Voisin Silvipastoril em núcleos (PRV núcleos).



Fonte: Abdon Luiz Schmitt Filho

As mudas foram plantadas em covas de aproximadamente 10 cm x 20 cm x 20 cm de tamanho, nos núcleos previamente cercados com arame eletrificado à 1,0 metro de distância das mudas periféricas. Nesta propriedade piloto são 5 piquetes de aproximadamente 1.960m² cada com núcleos. Estes piquetes são ocupados por 35 vacas em lactação, seguidas pelo lote de repasse. Cada lote permanece metade do dia em cada piquete.

Nos últimos seis anos, independente da necessidade, este produtor tem aplicado 50 kg de fertilizantes nitrogenados por hectare anualmente. Além disso, a pastagem é sobressemeada com aveia (*Avena sativa*), azevém (*Lolium multiflorum*), trevo-vermelho (*Trifolium pratense*) e trevo branco (*Trifolium repens*) no início de cada outono a 16 anos.

Figura 6 - Área de Voisin Silvipastoril em núcleos (PRVnúcleos).



Fonte: Laboratório de Sistemas Silvipastoris – LASS/UFSC

Já o tratamento 2 (T2), Pastoreio Racional Voisin sem arvore (PRV), está localiza-se lado a lado do PRVnúcleos (Figura 2) apresentando a mesma idade e condições de manejo semelhantes ao PRVnúcleos. A única distinção dos piquetes é o fato do PRV não apresentar os núcleos. No PRV tem-se uma pastagem polifítica de mais

de 50 anos de idade, com dominância de missioneira-gigante (*Axonopus Catharinensis*) e *Hemarthria altissima* (Figura 7). As características agronômicas e manejo dos piquetes no PRV são idênticas ao PRVnúcleos.

Figura 7 - Área de Pastoreio Racional Voisin sem árvore (PRV).



Fonte: Gustavo Tramontin, 2016

Além das áreas de pastagem, há os tratamentos 3 (T3), que é uma área de 6 hectares de Mata Atlântica Ombrófila Densa Primária (F1) (Figura 8). Esta mata 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). O tratamento 4 (T4), 0,4 hectares de Mata Atlântica ombrófila densa em estágio secundário de sucessão com 15 anos de idade (F2) (Figura 2), composta por espécies como *Alchornea triplinervia*, *Nectandra spp.*, *Byrsonima ligustrifolia*, *Miconia spp.*, *Cabralea canjerana*, *Myrcia spp.*, *Pera glabrata*, *Hieronyma alchorneoides*, e *Psychotria spp.* Esta área anteriormente fora ocupada com sucessivos cultivos anuais convencionais de milho e pastagem.

Figura 8 - Área de floresta primária (F1) na parte superior direita da foto



Fonte: O autor.

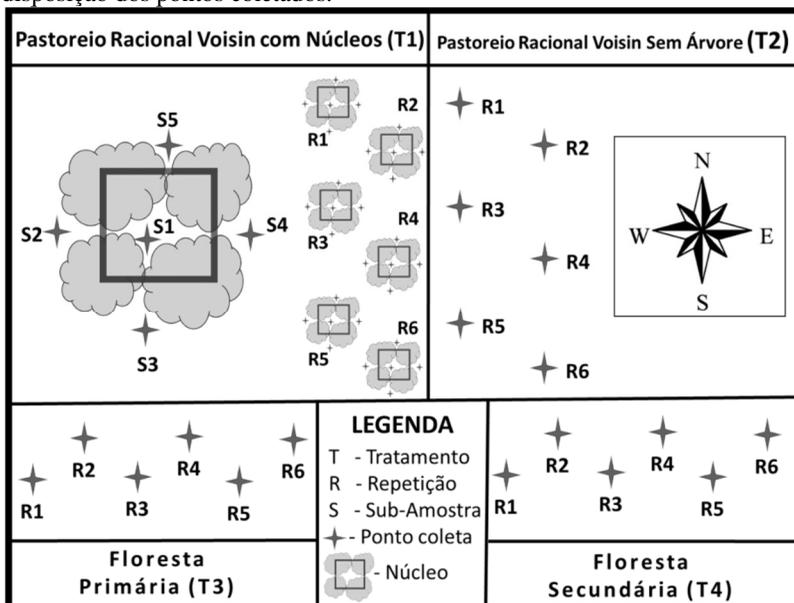
2.2 AMOSTRAGEM

Para a coleta das amostras de solo, realizada em fevereiro de 2016, foram abertas mini-trincheiras (40 x 40 x 40 cm) em cada um dos quatro tratamentos (Figura 9). Foram coletadas amostras indeformadas para avaliação da densidade do solo (0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm) e estabilidade de agregados (0-5, 5-10 e 10-20 cm). Também foram coletadas amostras deformadas para avaliação dos teores de carbono, nitrogênio, granulometria e fertilidade do solo (0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm). As amostras foram secas ao ar e processadas no Laboratório de Manejo e Classificação de Solos da Universidade Federal de Santa Catarina para posterior avaliação dos atributos físicos e químicos.

Em todas as áreas foram coletadas amostras simples para formar uma composta, sendo 6 repetições em cada área. No tratamento PRVnúcleos (T1, figura 9), foi coletado uma amostra simples em cada uma das quatro faces dos núcleos (N, S, L e O) a uma distância de 2 m da cerca, além de uma amostra simples no centro do núcleo. Estas 5 amostras coletadas em cada núcleo constituiu uma amostra composta do tratamento PRVnúcleos, totalizando 6 repetições. Na área do tratamento PRV (T2), as amostras foram coletadas em locais sob condições de

pleno sol, na mesma linha dos núcleos da área de PRV núcleos onde foram coletadas amostras. Nas áreas de floresta primária (T3) e floresta secundária (T4) foram coletadas amostras distribuídas aleatoriamente (Figura 9).

Figura 9 - Croqui esquemático das áreas amostradas, com destaque para a disposição dos pontos coletados.



Fonte: O autor.

2.3 ANÁLISES REALIZADAS

2.3.1 Análises físicas

a) Análise granulométrica do solo

Foi feita por meio da dispersão das partículas do solo com uso de NaOH, utilizando-se as amostras deformadas do solo. Foram quantificadas as proporções de areia, silte e argila, conforme EMBRAPA (1997), e determinada a classe textural do solo, conforme SANTOS et al. (2013).

b) Densidade do solo

Foi feita por meio da coleta das amostras indeformadas, no sentido horizontal, para a determinação da densidade do solo (D_s) pelo método do anel volumétrico (Kopecky), que possui volume conhecido (50 cm^3), 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 cm^3 , conforme descrito em EMBRAPA (1997).

c) Agregação do solo

Para avaliação da distribuição dos agregados estáveis em água foi utilizado o método da EMBRAPA (1997). Das amostras indeformadas (torrões) que foram secas à sombra no laboratório, posteriormente foram passadas em um conjunto de peneiras de malha de 8,0 e 4,0 mm, para obtenção dos agregados, conforme Embrapa (1997). Foram pesadas 25 g das amostras dos agregados que ficaram retidos na peneira de 4 mm. Posteriormente, as amostras foram transferidas para um jogo de peneiras com malhas de 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,105 mm, umedecidas com pulverizador manual, sendo submetido à agitação vertical no aparelho de Yoder, durante 15 min. Após o tempo determinado, o material retido em cada peneira foi retirado, separado com o auxílio de jato d'água, colocado em placas de petri, secas em estufa a 105°C , até atingir massa constante. Após a secagem, obtém-se a massa dos agregados retida em cada peneira. Com os dados de massa seca dos agregados foi calculado o diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados.

A partir dos dados de DMG, calculou-se o índice de sensibilidade (BOLINDER et al., 1999a), utilizando-se a expressão: $IS = DMG_t / DMG_o$, em que IS: índice de sensibilidade; DMG_t : valor do DMG do solo em cada tratamento; e DMG_o : valor do DMG do solo na cobertura original (Mata Atlântica primária).

2.3.2 Análises químicas

a) Caracterização do complexo sortivo do solo

Nas amostras de TFSA foram determinados os atributos pH em água, teores trocáveis de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} e H+Al, além dos teores disponíveis de K^+ e P, segundo métodos descritos por EMBRAPA (1997) e TEDESCO et al. (1995).

b) Determinação dos teores de carbono e nitrogênio no solo

Os teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) do solo foram determinados pelo método de combustão a seco, em auto

analisador de C e N, a 900°C (CHN-1000 da Leco) do Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA (Centro de Energia Nuclear na Agricultura) – Piracicaba.

2.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade dos dados por meio dos testes de Lilliefors e Bartlett, respectivamente. Posteriormente, foi analisado como delineamento inteiramente casualizado, pois os sistemas de uso do solo avaliados estão sob as mesmas condições topográficas e edafoclimáticas. Os resultados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores médios, quando significativos, comparados entre si pelo teste de Tukey a 5%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

3.1.1 Composição granulométrica do solo

De acordo com SANTOS et al. (2013) em todos os sistemas de uso do solo e profundidades avaliados a classe textural é a mesma. Em nossa área experimental a classe textural é classificada como francossiltosa (Tabela 1).

Tabela 1 - Composição textural do solo (g.kg^{-1}) encontrada nos diferentes sistemas de uso do solo em Santa Rosa de Lima, SC.

Sistemas de uso do solo	Areia	Silte	Argila	Classe textural
PRVnúcleos	287	583	130	Francossiltosa
PRV	292	563	145	
F2	187	650	163	
F1	171	669	160	
5-10 cm				
PRVnúcleos	343	532	125	Francossiltosa
PRV	351	519	130	
F2	214	580	206	
F1	219	596	185	
10-20 cm				
PRVnúcleos	316	525	153	Francossiltosa
PRV	289	541	170	
F2	197	570	233	
F1	183	645	172	
20-30 cm				
PRVnúcleos	300	510	190	Francossiltosa
PRV	275	515	210	
F2	198	549	253	
F1	224	596	180	
30-40 cm				
PRVnúcleos	278	512	210	Francossiltosa
PRV	277	508	215	
F2	187	553	260	
F1	196	614	190	

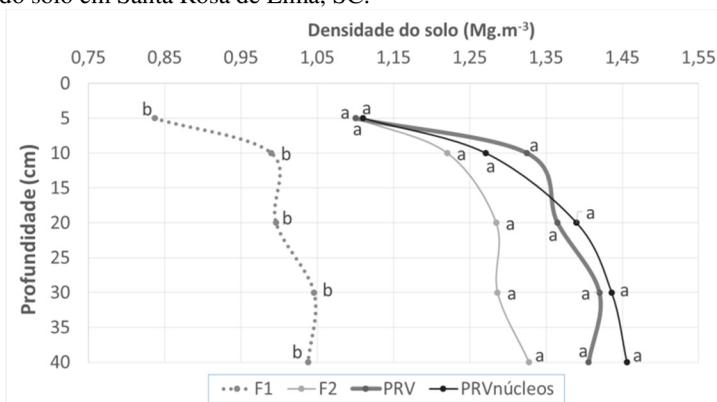
Conforme observa-se na Tabela 1, há um predomínio da fração silte, sendo observados valores acima de 500 g.kg^{-1} em todas as áreas e profundidades. Isto é um indicador de solo pouco intemperizado, sendo esta característica típica da ordem do Cambissolos, conforme EMBRAPA (2013). Para a fração argila, os valores médios variaram de 125 a 260 g.kg^{-1} ; e para a fração areia, os valores variaram entre 171 a 351 g.kg^{-1} .

A textura do solo é um atributo que não varia com o manejo do solo, sendo apenas influenciada pelo material de origem e o grau de intemperismo do solo (SANTOS et al., 2013). Sendo assim, quaisquer mudanças ocasionadas nos atributos físicos e químicos do solo são decorrentes do manejo empregado e não de sua textura.

3.1.2 Densidade do solo

Os valores de densidade do solo (D_s) variaram de $0,84$ a $1,11 \text{ Mg m}^{-3}$ na profundidade de $0-5 \text{ cm}$, e de $1,04$ a $1,46 \text{ Mg m}^{-3}$, na profundidade de $30-40 \text{ cm}$. Os menores valores de D_s foram encontrados no tratamento F1 em todas as profundidades avaliadas. Os maiores valores de D_s foram encontrados nos tratamentos F2, PRVnúcleos e PRV (Figura 10).

Figura 10 Densidade do solo (Mg m^{-3}) encontrada nos diferentes sistemas de uso do solo em Santa Rosa de Lima, SC.



Letras iguais em cada profundidade não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Não foram observadas diferenças estatísticas entre os valores de Ds para os tratamentos PRVnúcleos e PRV, o que indica que a implantação dos núcleos arbóreos para o fornecimento de sombra para o gado não influenciou no aumento da Ds. Apesar destes tratamentos apresentarem os maiores valores de densidade, é importante ressaltar que todos os valores de Ds encontrados são inferiores a $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$, valor crítico para o desenvolvimento normal das raízes em solos de textura média (REICHERT et al., 2003)

A ausência de diferenças nos valores de Ds entre PRVnúcleos e PRV podem ser decorrentes do tempo de implantação, pois o PRVnúcleos foi implantado a apenas 4 anos (2012-2016). Analisando a Ds em áreas de PRV implantadas a cinco anos com e sem árvores dispostas na pastagem e em uma floresta nativa, COMIN et al. (2016) também não encontraram diferenças estatísticas entre os dois sistemas de PRV com e sem árvore nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, com valores variando entre 0,93 a $1,11 \text{ Mg m}^{-3}$. Os autores também encontraram maiores valores de Ds nas áreas de PRV em comparação à floresta, corroborando com os resultados encontrados neste estudo.

Os menores valores de Ds encontrados no tratamento F1 representam a tendência natural de solos de florestas em apresentarem menores valores de Ds, devido ao fato de sofrerem menos distúrbios do que solos sob usos agrícolas. Estes são perturbados com o tráfego de pessoas, animais ou máquinas, o que promove o aumento da Ds (BEZKOROWAJNYJ et al., 1993; LIMA et al., 2013; LULL, 1959; PIRES et al., 2013). SHARROW (2007) também encontrou valores de Ds maiores em um sistema silvipastoril ($1,05 \text{ Mg m}^{-3}$) do que em floresta ($0,93 \text{ Mg m}^{-3}$), em um experimento que analisou o efeito do sistema silvipastoril após 11 anos de implantação em Oregon, USA.

3.1.3 Agregação do solo

Para o atributo diâmetro médio geométrico (DMG) não foram verificadas diferenças estatísticas entre os tratamentos nos primeiros 10 cm de profundidade, sendo que todos os valores encontrados são maiores que 4,000 mm, indicando uma boa agregação em todos os tratamentos, pois o máximo valor, segundo o método utilizado (EMBRAPA, 1997), seria 5,000 mm. Na profundidade de 10-20 cm, as áreas de F2 e F1 apresentam os menores valores de DMG, com destaque para os maiores valores encontrados nos tratamentos PRV e PRVnúcleos (Tabela 2).

Tabela 2 - Diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados encontrados nos diferentes sistemas de uso do solo em Santa Rosa de Lima, SC.

Sistemas Avaliados	DMG (mm)
0 - 5 cm	
PRVnúcleos	4,580 ^{ns}
PRV	4,748
F2	4,510
F1	4,318
C.V. (%)	8,28
5 - 10 cm	
PRVnúcleos	4,448 ^{ns}
PRV	4,656
F2	4,168
F1	4,383
C.V. (%)	6,65
10 - 20 cm	
PRVnúcleos	4,066 ab
PRV	4,280 a
F2	3,016 c
F1	3,390 bc
C.V. (%)	16,74

Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo Tukey; ns= não significativo a 5% pelo teste F; CV= Coeficiente de Variação.

Os maiores valores de DMG encontrados nos tratamentos em F1, PRVnúcleos e PRV na profundidade de 10 - 20 cm em relação à F2 podem ser devidos aos maiores valores de COT encontrados nestas áreas (Figura 11). Este fato pode estar relacionado ao aporte constante de matéria orgânica proveniente da rizodeposição das gramíneas e da decomposição de restos vegetais característicos em agroecossistemas silvipastoris, especialmente sob manejo do PRV. A estruturação do solo também é estimulada pelas raízes fasciculadas das gramíneas, densas e bem distribuídas no solo tanto em superfície quanto em profundidade, encontradas nas áreas de PRV e PRVnúcleos, que naturalmente favorecem o processo a formação de agregados mais estáveis nestes sistemas (TORRES et al., 2013).

O menor valor de DMG encontrado em F2 na profundidade de 10 - 20 cm provavelmente é também resultado do manejo do solo desenvolvido anteriormente ao reestabelecimento da sucessão florestal, caracterizado por cultivos anuais e constante revolvimento do solo.

Além disso, F2 representa o tratamento que apresentou os menores valores de COT na maioria das camadas (Figura 9), que está associado ao teor de matéria orgânica do solo, essencial para o processo de agregação (BRAIDA et al., 2011).

Dessa forma, os maiores teores de COT e DMG evidenciados na área de PRVnúcleos e PRV em comparação a F2 são decorrentes do maior aporte de resíduos vegetais (resíduos da biomassa forrageira e das árvores) somados à adição dos dejetos bovinos que favorece a formação de agregados de maior tamanho. Estes são fatores importantes que contribuem para a estabilização do carbono no solo à longo prazo (DENEFF et al., 2007).

Avaliando a agregação do solo em áreas com PRV com e sem árvores com cinco anos de implantação, Comin et al. (2016) encontraram maiores índices de agregação nas áreas de PRV em comparação com a floresta nativa. Na profundidade de 10-20 cm, o PRV com árvores apresentou índice de agregação de 4,763 mm em comparação a floresta que foi de 4,087 mm. Comparando uma lavoura com 15 a 20 anos sob preparo convencional do solo, pastagem nativa *Panicum maximum* com 40 anos e cultivo de eucalipto consorciado com *Panicum maximum* em sistema silvipastoril de cinco anos, LOSS et al. (2014) concluíram que o sistemas com lavouras diminuíram a agregação do solo (0-10 cm) em comparação aos demais sistemas avaliados. O sistema silvipastoril aumentou a agregação do solo em comparação a área de lavoura, e em relação à pastagem.

Quanto ao índice de sensibilidade para o DMG (IS_{DMG}) é possível observar valores superiores aos da área referência (F1) para os tratamentos PRV e PRVnúcleos em todas as profundidades (Tabela 3). Os valores acima da unidade (área de floresta primária = 1,0), encontrados nas áreas de PRVnúcleos e PRV representam incremento na agregação, e valores menores que a unidade, representam redução na agregação (BOLINDER et al., 1999b; PORTUGAL et al., 2010). Para a área de F2 verificou-se uma redução do IS de 5% e 11%, respectivamente, para 5-10 e 10-20 cm, em relação à F1. Já para as áreas de PRV e PRVnúcleos, verificaram-se aumento do IS de 10% e 6% (0-5 cm) e 26% e 20% (10-20 cm), respectivamente, em relação a F1.

Tabela 3 - Índices de Sensibilidade para o parâmetro diâmetro médio geométrico (IS_{DMG}) de agregados em relação a área referência (floresta primária – F1) nos diferentes sistemas de uso do solo em Santa Rosa de Lima, SC.

IS _{DMG}	PRVnúcleos	PRV	F2	F1
0 – 5 Cm	1,06	1,10	1,05	1,00
5 – 10 Cm	1,02	1,06	0,95	1,00
10 – 20 Cm	1,20	1,26	0,89	1,00

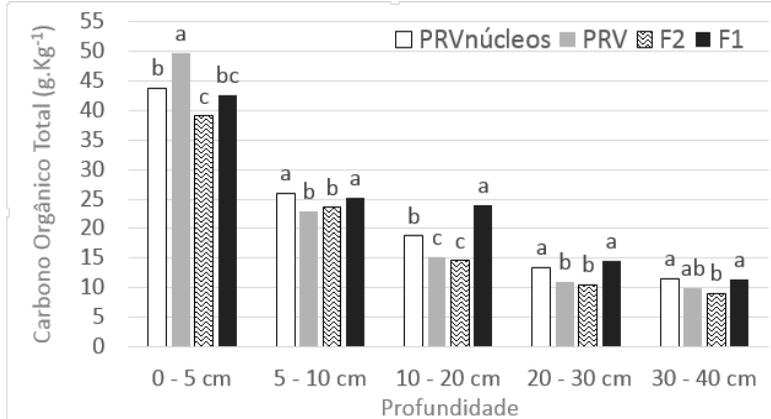
Os maiores incrementos do IS_{DMG} nas áreas de PRVnúcleos e PRV, com destaque para a profundidade de 10-20 cm, corroboram os maiores valores de DMG encontrados nestas áreas (Tabela 2). Nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, para os valores de DMG não foram encontradas diferenças entre as áreas avaliadas (Tabela 2), porém quando se observa o IS_{DMG}, nota-se que as áreas de PRV e PRVnúcleos apresentam incremento no IS em relação a F1 e também em comparação a F2. No PRV e PRVnúcleos os maiores incrementos no IS estão relacionados a ciclagem de nutrientes que é acentuada pelo efeito da bosta e pelo descanso do piquete que permite o desenvolvimento pleno e homogêneo das raízes (MACHADO, 2004).

3.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

3.2.1 Teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) do solo

Os teores de carbono orgânico total (COT) apresentam uma tendência semelhante em todos os sistemas. Os maiores valores foram encontrados nas profundidades superficiais, decrescendo progressivamente com ao aumento da profundidade. Nos primeiros 5 cm, o tratamento PRV apresenta a maior média, e o tratamento F2 a menor. Na camada de 5-10 cm 20-30 e 30-40, os tratamentos PRVnúcleos e F1 apresentaram os maiores valores de COT, (Figura 11).

Figura 11 - Valores médios de Carbono orgânico total (COT) do solo até 40 cm nos diferentes sistemas de uso do solo em Santa Rosa de Lima, SC.



Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

O maior teor de COT encontrado no tratamento PRV nos primeiros 5 cm de profundidade, pode estar associado ao desenvolvimento homogêneo das raízes das gramíneas promovido pelo sistema Pastoreio Racional Voisin. O PRV promove maior produção de biomassa radicular, decompostas periodicamente, promovendo um maior teor de carbono nos primeiros 5 cm de solo (CORAZZA, 1999). Fortalecendo estas afirmações, a rizodeposição de carbono é 2,4 vezes maior que a derivada da parte aérea das plantas (RASSE et al., 2005), além disso, o carbono derivado das raízes são mais estáveis fisicamente (SOUSSANA et al., 2010).

A partir dos primeiros 5 cm, os maiores teores de COT foram encontrados nos tratamentos PRVnúcleos e F1, cenário resultante do constante aporte e acúmulo de resíduos vegetais que formam a serapilheira (fragmentos de folhas, frutos, galhos e raízes), restrito as camadas superficiais do solo, considerada como a principal via de transferência de carbono orgânico para o solo (CALDEIRA et al., 2008). Assim observa-se quão notável foi influência do elemento arbóreo no teor de COT do solo, visto que os maiores teores de COT foram encontrados justamente nestes tratamentos que contem árvores no sistema. Solos de floresta primária (F1) possuem altos índices de carbono naturalmente, pois além de não sofrerem perturbações que degradem a matéria orgânica, há um constante aporte de carbono via serapilheira e rizodeposição. Os altos valores de COT encontrados em

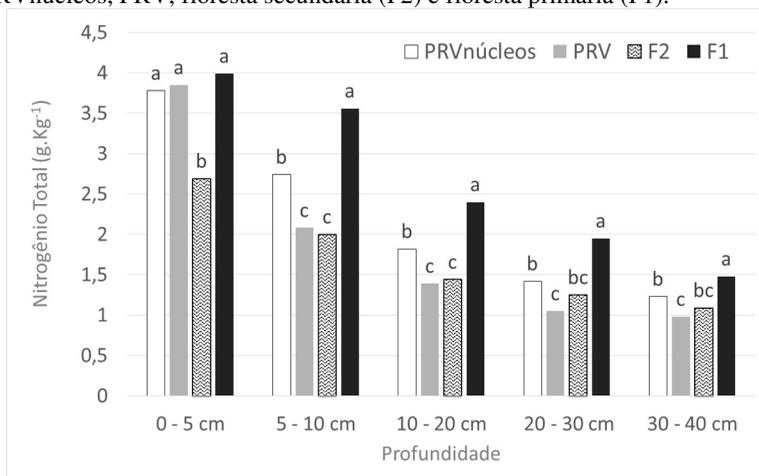
PRVnúcleos corroboram com outros trabalhos que também encontraram um maior teor de carbono próximo às árvores em sistema silvipastoril do que na pastagem aberta (CASALS et al., 2014; HOOSBEEK et al., 2016).

Os menores teores de COT no tratamento F2 em 0-5 cm, podem estar relacionados com manejo anterior ao reestabelecimento da vegetação natural, que degradou a fertilidade do solo pelos sucessivos revolvimentos dos cultivos anuais. Este fato corrobora com CARDOSO et al. (2010), que constataram que a conversão da floresta nativa em pastagem cultivada e a exposição desta pastagem ao revolvimento do solo e ao pastejo contínuo promoveram a redução nos estoques de carbono orgânico do solo.

Os dados revelam que o carbono orgânico tende a se alocar em maiores profundidades em florestas tropicais, porém, quando ocorre uma mudança de uso do solo, de floresta para pastagem, com eventual revolvimento do solo, este carbono estocado mais profundamente é metabolizado. Após a implantação da pastagem, o carbono se concentra em maior quantidade na superfície, onde a taxa de metabolização é muito alta, resultando em um fluxo dinâmico de carbono orgânico com o aporte periódico proveniente da decomposição das raízes. Porém o PRVnúcleos, em pouco tempo (4 anos) pode realocar este carbono em maiores profundidades revelando seu potencial em estocar de carbono, pois nesta profundidade, o carbono tende a ser mais estável do que o carbono presente superficialmente por estar menos sujeito à potenciais distúrbios.

Quanto aos teores de nitrogênio total (Nt) (Figura 12), nos primeiros 5 cm, os tratamentos PRVnúcleos, PRV e F1 apresentaram as maiores médias de Nt. O tratamento F2 apresentou a menor média, destoando dos demais tratamentos. A partir dos 5 cm de profundidade, o tratamento F1 apresenta os maiores teores de Nt, seguido pelo tratamento PRVnúcleos, e os tratamentos PRV e F2. Somente na profundidade de 20-30 cm, o PRV foi menor que o F2.

Figura 12 - Valores médios de nitrogênio total (Nt) do solo até 40 cm em PRVnúcleos, PRV, floresta secundária (F2) e floresta primária (F1).



Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Os maiores teores de Nt encontrados no tratamento F1 em todas as profundidades, são decorrentes da ausência de intervenção antrópica sofrida nesta área, em relação às outras áreas analisadas, somado ao constante aporte de serapilheira e à atividade biológica atuando sobre este material. Os menores teores de Nt abaixo dos 5 cm e de COT na camada 10-40 cm, nos tratamentos PRVnúcleos, PRV e F2, são fruto do processo erosivo em que estas áreas foram submetidas após serem desmatadas para o estabelecimento da agricultura. Os tratos culturais como o revolvimento e subsequente exposição do solo sub-superficial culminaram na desagregação do solo, exposição e oxidação da matéria orgânica e diminuição dos teores de COT e Nt (TIVET et al., 2013).

Após a formação da pastagem, e o reestabelecimento da biocenose do solo, foi possível ocorrer uma acumulação de C e N nas camadas mais superficiais do solo. Isto pode ser visualizado na profundidade de 0-5 cm, onde os teores de COT e NT em PRVnúcleos e PRV são semelhantes F1 (SALIMON et al., 2007). Além disso, nos tratamentos PRVnúcleos e PRV, o solo está coberto com pastagens polifíticas com a presença de leguminosas fixadoras de nitrogênio nos primeiros centímetros do solo. Soma-se a isto a contribuição dada pelo sistema radicular do tipo fascicular e morte das hastes das gramíneas sob

baixa intensidade luminosa, que contribuem com o aporte de carbono nos primeiros centímetros (LOSS et al., 2014c).

Abaixo dos 5 cm de profundidade, é notória a influência dos núcleos no teor de Nt do solo, pois a média de Nt presente no tratamento PRVnúcleos é superior ao PRV em todas estas profundidades. É provável que este cenário seja fruto da biodiversidade funcional relacionada especialmente as raízes da bracatinga (*mimosa scabrella*), leguminosa arbórea nativa fixadora de nitrogênio e presente nos núcleos (COELHO et al., 2007). O único fator que diferencia estes dois tratamentos é a presença dos núcleos. É possível que esta diferença se acentue com o tempo, ficando mais claro esta dinâmica, pois as bracatingas não puderam expressar ainda todo seu potencial de fixação de nitrogênio, já que têm somente 4 anos e não alcançaram ainda a fase adulta. Avaliando os teores de Nt em sistema silvipastoril com bracatingas nos primeiros 20 cm de solo, OLANDA et al. (2011) não encontraram diferenças no teor de Nt devido à idade jovem das bracatingas.

É importante destacar que a partir dos 5 cm de profundidade tem-se maiores teores de COT e NT no PRVnúcleos em comparação ao PRV. Isto indica que realmente tem-se um ambiente no PRVnúcleos que favorece o acúmulo de COT, pois incrementos de N, seja por fixação biológica (leguminosas) favorecem o acúmulo de COT, pois não ocorre aumento de COT no solo se a quantidade de N for limitante à produtividade biológica (URQUIAGA et al., 2005). Essa estreita relação entre os teores de C e N foi observada em áreas localizadas em diferentes regiões do Brasil, em cultivo de grãos e condições de vegetação nativa (LOSS et al., 2012; SISTI et al., 2004), corroborando os resultados encontrados neste estudo.

3.2.2 Fertilidade do solo

Os maiores valores de pH foram encontrados nos tratamentos PRVnúcleos e PRV, e os menores valores nos demais tratamentos, em todas as profundidades avaliadas. Provavelmente este cenário é fruto da aplicação de calcário que foi executado no início da implantação do PRV a fim de corrigir a acidez do solo. Os maiores teores de Ca e Mg no PRVnúcleos e PRV em comparação aos demais tratamentos fortalecem esta tese (Tabela 4).

De acordo com o manual de adubação e calagem do RS e SC (CQFS RS/SC, 2004), os valores de pH em água menores que 5,5 são considerados muito baixos. Observam-se na Tabela 4 que todos os

valores apresentados são inferiores a 5,5. Nas áreas de PRVnúcleos e PRV, os valores de pH se aproximam mais do pH ideal de 5,5.

Tabela 4 Atributos químicos do solo nos diferentes sistemas de uso do solo em Santa Rosa de Lima, SC.

Uso do solo	pH	Al	Al+H	Ca	Mg	K	P
	----- cmolc kg ⁻¹ -----					-- Mg dm ⁻³ --	
0 – 5 Cm							
PRVnúcleos	4,85 a	0,40 c	6,70 b	4,40 b	2,33 a	186,88 a	13,60 a
PRV	4,95 a	0,13 c	4,23 b	5,60 a	2,38 a	108,67 b	6,70 b
F2	3,98 b	2,85 b	21,33 a	0,78 c	0,90 b	47,50 c	3,25 b
F1	3,60 b	6,68 a	25,15 a	0,28 c	0,65 b	114,33 b	6,87 b
C.V. (%)	4,80	24,13	34,28	16,12	16,83	14,39	27,86
5 - 10 Cm							
PRVnúcleos	4,76 a	0,79 c	7,44 b	2,93 a	1,56 a	103,13 a	6,01 a
PRV	4,85 a	0,53 c	4,18 b	3,35 a	1,28 a	50,75 b	3,57 b
F2	3,88 b	3,65 b	20,73 a	0,33 b	0,43 b	29,25 c	2,35 b
F1	3,65 b	6,70 a	23,13 a	0,13 b	0,23 b	36,50 bc	3,67 b
C.V. (%)	6,14	19,13	14,41	34,22	21,95	15,94	17,03
10 – 20 Cm							
PRVnúcleos	4,38 a	1,34 c	7,84 b	1,46 a	0,95 a	61,34 a	2,52 a
PRV	4,73 ab	1,95 c	5,30 b	1,18 a	1,08 a	32,75 b	1,72 b
F2	4,05 bc	3,85 b	17,28 a	0,3 b	0,30 b	21,50 b	1,45 b
F1	3,78 c	6,48 a	18,18 a	0,10 b	0,15 b	25,00 b	1,85 b
C.V. (%)	7,50	21,09	15,50	36,84	29,23	20,86	26,18
20 – 30 Cm							
PRVnúcleos	4,68 a	2,13 b	8,49 b	0,93 a	0,64 a	45,46 a	1,30 a
PRV	4,65 a	2,00 b	6,50 b	0,80 a	0,58 a	17,33 b	0,78 b
F2	4,03 b	3,73 b	14,13 a	0,10 b	0,13 b	12,50 b	0,93 b
F1	3,90 b	5,85 a	16,25 a	0,10 b	0,13 b	17,75 b	1,65 a
C.V. (%)	5,68	24,28	13,00	48,08	29,48	12,57	31,21

Os valores de pH abaixo de 5,5 corroboram com a presença de Al e H+Al em todas as áreas e profundidades avaliadas, com destaque para os maiores teores de Al e H+Al nas áreas de F1 e F2, as quais apresentaram os menores valores de pH em água. Os menores valores de Al e H+Al nas áreas de PRVnúcleos e PRV, além do efeito da calagem, também podem estar associados com a deposição de dejetos dos bovinos, principalmente o esterco. A literatura considera uma composição acima de 0,5% de CaO no esterco bovino. Quando o esterco é distribuído uniformemente no solo, como é oportunizado pelo PRV e PRVnúcleos devido as altas cargas instantâneas, este pode contribuir mais eficientemente com o aumento do pH em água. Isto

ocorre devido ao consumo de H^+ , após ser dissolvido no solo, refletindo em um aumento nos valores de pH em água com consequente redução dos valores de Al e H+Al (WHALEN et al., 2000).

Nos tratamentos F1 e F2, os menores valores de pH (0-5 cm) e maiores valores de H+Al (0-5 e 5-10 cm) podem estar associados à deposição constante de serapilheira, que promove o aumento da matéria orgânica sobre o solo. Este material, ao ser decomposto pela biota do solo, pode acidificar o solo através da liberação de íons H^+ através da liberação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular e reações específicas (GONÇALVES et al., 2012). Outros dados que contribuem para os resultados apresentados anteriormente, é que em todas as profundidades, o tratamento F1 apresentou os maiores teores de alumínio, seguido do tratamento F2. O fato de nunca ter sido aplicado calcário nestas áreas explica estes valores, pois quanto menor o pH, menor o alumínio disponível no solo. Além disso, em todas as profundidades, os tratamentos F1 e F2 apresentaram os menores valores de Ca e Mg características de áreas onde não fora aplicado o calcário.

Os maiores teores de Ca e Mg encontrados nos tratamentos PRVnúcleos e PRV, em todas as profundidades, está atrelado aos efeitos da calagem e dos dejetos bovinos constantemente aportados no sistema. Segundo GALVÃO et al. (2008), em um estudo sobre o efeito da aplicação contínua de esterco bovino em diferentes sistemas de uso solo por 6, 15 e 40 anos, observaram um incremento maior de Ca do que de Mg no solo, além disso, encontraram uma concentração maior de Ca do que de Mg no esterco bovino. No tratamento PRVnúcleos, a similaridade entre os teores de Ca e Mg com a área de PRV está relacionada a adubação e calagem realizadas igualmente nesses sistemas.

Para os valores de Fósforo (P), os maiores teores foram encontrados no tratamento PRVnúcleos, em todas as profundidades (Tabela 4). Estes resultados são decorrentes do aporte de P via serapilheira, no qual as raízes absorvem o fósforo do solo das maiores profundidades, e devolvem ao solo quando as folhas caem no solo formando a serapilheira, como observado por CASALS et al. (2014) e HOOSBEEK et al. (2016).

Em estudo sobre os parâmetros relacionados com a fertilidade do solo em um sistema silvipastoril, CASALS et al., (2014) verificaram que a presença das árvores do sistema silvipastoril de 10 anos na Nicarágua aumentou os teores de P, K^+ , Ca^{+2} , COT e NT nos primeiros 10 cm do solo abaixo do dossel quando comparado a pastagem a pleno sol. Além disso, esses autores constataram também que quanto maior a área basal

da árvore, e conseqüentemente sua idade, maior o efeito sob a fertilidade do solo, com uma maior deposição de serapilheira sob o solo.

Em outro estudo realizado em uma savana tropical no Quênia, BELSKY et al. (1993) observaram que as árvores tem um efeito positivo na fertilidade do solo, sendo encontrando maiores valores de P, K, Ca e N abaixo da copa das árvores quando comparado com as áreas de pasto a pleno sol. Este fato foi relacionado com os efeitos das árvores em atrair animais, que adicionam nutrientes no solo através do bosteio além da queda das folhas que formam a serapilheira e reduzem a temperatura e a perda de água do solo através da evapotranspiração. Os resultados de ambos os trabalhos, CASALS et al. (2014) e BELSKY et al. (1993), corroboram com os resultados encontrados neste estudo.

Em um sistema silvipastoril de árvores isoladas no pasto com mais de 50 anos de idade na Nicarágua, foi analisado a fertilidade em 3 pontos distintos do sistema: abaixo da copa das árvores, na área adjacente à copa das árvores, e no pasto aberto nas profundidades 0 - 20 e 20 - 40 cm. Os resultados mostraram que na profundidade de 0-20 cm foi encontrado um maior teor de P na zona adjacente ao dossel, do que no pasto aberto e abaixo do dossel das árvores. A presença das árvores também influenciou positivamente nos teores de C e N e na disponibilidade de nutrientes do solo, por influência da deposição de folhas via serapilheira, corroborando com os resultados encontrados neste estudo (HOOSBEEK et al., 2016).

Em Dehesa, no Mediterrâneo, em um ecossistema caracterizado por ser área de pastagem manejada continuamente em solo com árvores espaçadas em uma densidade populacional de 50 árvores por hectare, foram coletadas 220 amostras dos primeiros 5 cm de solo a cada 2 m em um quadrante de 20 m x 20 m. Os resultados indicaram uma maior concentração de matéria orgânica, N mineral, P disponível e K, embaixo das copas do que no pasto aberto. Além disso a concentração de P disponível no solo pode estar relacionado com a densidade de distribuição radicular, pois a extensão das raízes das árvores, maiores que a projeção da copa da árvore pode também explicar a maior taxa de P nos locais além da copa (GALLARDO, 2003), corroborando com os resultados desta pesquisa.

Quanto ao Potássio (K), em todas as profundidades, o tratamento PRVnúcleos apresentou os maiores teores. Os menores teores foram encontrados no tratamento F2 nos primeiros 10 cm de solo, e nos tratamentos PRV, F2 e F1 na camada 10-30 cm (Tabela 4).

Os maiores teores de K encontrados em todas as profundidades do tratamento PRVnúcleos, provavelmente é resultado do constante

aporte de urina dos bovinos no entorno dos núcleos. Nesta mesma área de estudo CRAESMEYER et al. (2017) que as áreas sob influência da sombra recebem uma maior carga de dejetos do que o resto do piquete, sendo que as dejeções ocorrem 60% das vezes na área sombreada, o que representa 25% da área total do piquete, no período das 9:00 às 17:00h (CRAESMEYER et al., 2017).

Além disso, o K é eliminado em maior proporção por via urinária, ao contrário de P, Ca e Mg, que são excretados em maiores proporções nas fezes e o N que é reciclado via urina e fecal (HAYNES & WILLIAMS, 1993). Outro fator que influencia nos teores encontrados de K é o aporte realizado via serapilheira, já que K é o macronutriente que mais facilmente é lixiviado das folhas e tecidos das plantas, pois não faz parte da constituição celular (ABER & MELILLO, 2001). Isto pode explicar os altos teores de K encontrados em F1 na camada 0-5 cm, menor do que o teor de K encontrado em PRVnúcleos pois não há input via bostas animais.

4. CONCLUSÃO

Os núcleos arbóreos apresentam um potencial enriquecedor da qualidade do solo, influenciando positivamente nos atributos físicos e químicos do solo. Os melhores resultados para estes atributos encontrados no PRVnúcleos evidenciam efeito positivo promovido pelos 40 núcleos arbóreos por hectare, igualando este sistema a capacidade da floresta primária em acúmulo de carbono em profundidade (20-40 cm).

A implantação dos núcleos arbóreos em pastagens naturalizadas manejadas sob sistema Voisin não influenciou na densidade do solo quando comparado ao PRV sem núcleos. Cabe notar que nenhum valor de densidade do solo encontrado neste estudo interfere no desenvolvimento normal das raízes.

O PRVnúcleos favorece o acúmulo de COT (5-40 cm) em comparação ao PRV sem arvores, pois, há maiores teores de Nt. Este fato pode estar relacionado principalmente a fixação biológica das bracingas além da urina dos animais.

Quanto à fertilidade, o PRVnúcleos influenciou positivamente nos teores de fósforo e potássio em todas as profundidades avaliadas em relação aos demais tratamentos. O uso da calagem e da adubação nitrogenada no PRVnúcleos e PRV, somados ao manejo do PRV, aumentaram os valores de pH, Ca e Mg, assim como diminuíram -os valores de Al e H+Al em comparação as demais áreas.

O sistema Voisin Silvipastoril com Núcleos Arbóreos, além de gerar sombra e incrementar a biodiversidade do agroecossistema, se mostrou uma ferramenta para melhorar os atributos físicos e químicos dos solos, elevando a qualidade destes na direção aos de floresta, que se degradados, demoram a se recuperar como evidenciado pelo tratamento F2.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema Voisin Silvipastoril com Núcleos se mostrou muito interessante, pois apenas em quatro anos, já promoveu melhoras significativas na qualidade do solo. Como sugestão para próximos trabalhos, deveria ser avaliado a produtividade, para conferir se a este sistema está influenciando na capacidade de suporte do sistema, negativamente ou positivamente. Outra sugestão seria avaliar o retorno econômico do sistema, considerando a produção dos produtos florestais não-madeireiros promovido pelo sistema, além de acompanhar a evolução dos atributos físicos e químicos do solo ao longo do tempo. Com relação a estes atributos a densidade do solo merece atenção especial para averiguar se esta é crescente ao longo do tempo e se compromete a produtividade da pastagem no entorno dos núcleos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABER, J. A.; MELILLO, J. M. **Terrestrial Ecosystems**. New York, NY: Saunders College Publishers, 2001.

AGUILAR, S.; CONDIT, R. Use of native tree species by an hispanic community in Panama. **Economic Botany**, v. 55, n. 2, p. 223–235, abr. 2001.

ALVEZ, J. P. Connectivity Restoration in Large Landscapes: Modeling Landscape Condition and Ecological Flows. **ecological restoration**, n. December, 2012.

ALVEZ, J. P. et al. Transition from Semi-Confinement to Pasture-Based Dairy in Brazil: Farmers' View of Economic and Environmental Performances. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v. 38, n. 9, p. 995–1014, 17 set. 2014.

BADGLEY, C. et al. Organic agriculture and the global food supply. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 22, n. 2, p. 86, 4 jun. 2007.

BARDGETT, R.; WARDLE, D.; YEATES, G. Linking above-ground and below-ground interactions: how plant responses to foliar herbivory influence soil organisms. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 30, p. 1867–1878, 1998.

BATTISTI, L. F. Z. et al. **DENSIDADE DO SOLO NOS MULTIPLOS PONTOS DE SOMBRA DO SISTEMA VOISIN SILVIPASTORIL COM NÚCLEOS (VOISIN SSP+NÚCLEOS)** IV convencion internacional agrodesarolllo. 2016

BAUER, T. ELIANE. Produção de Leite na Grande Florianópolis: Percepção dos Agricultores Familiares sobre a Transição do Semi-confinamento Tradicional para o Pastoreio Voisin. **Trabalho de Conclusão de Curso**, 2009.

BELSKY, A. J.; MWONGA, S. M.; DUXBURY, J. M. Effects of widely spaced trees and livestock grazing on understory environments in tropical savannas. **Agroforestry Systems**, v. 24, n. 1, p. 1–20, out. 1993.

BEZKOROWAJNYJ, P. G.; GORDON, A. M.; MCBRIDE, R. A. The effect of cattle foot traffic on soil compaction in a silvo-pastoral system. **Agroforestry Systems**, v. 21, n. 1, p. 1–10, jan. 1993.

BINDRABAN, P. et al. Assessing the impact of soil degradation on food production. **Current Environmental Sustainability Environmental Sustainability**, v. 4, p. 478–488, 2012.

BOLINDER, M. A. et al. Estimating C inputs retained as soil organic matter from corn (*Zea Mays* L.). **Plant and Soil**, v. 215, n. 1, p. 85–91, 1999a.

BOLINDER, M. A. et al. The response of soil quality indicators to conservation management. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 79, p. 37–45, 1999b.

BOURSCHEID, C. A. Indicadores de qualidade do solo na avaliação do efeito da arborização de pastagens em pastoreio racional voisin. In: Florianópolis: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2015. v. 1p. 75.

BRAIDA, J. et al. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. **Tópicos em ciência do solo**, v. 7, n. 1, p. 221–278, 2011.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 1, p. 53, 30 ago. 2008.

CARDOSO, E. et al. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 9, p. 1028–1035, 2010.

CARDOSO, E. et al. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 613–622, 2011.

CARVALHO, M.; ALVIM, M.; CARNEIRO, J. D. C. Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais. In: Juiz de Fora: **Embrapa Gado de Leite**, 2001. p. 414.

CASALS, P. et al. Soil organic C and nutrient contents under trees with

different functional characteristics in seasonally dry tropical silvopastures. **Plant and Soil**, v. 374, n. 1–2, p. 643–659, 26 jan. 2014.

COELHO, S. R. D. F. et al. Crescimento, nutrição e fixação biológica de nitrogênio em plantios mistos de eucalipto e leguminosas arbóreas. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 759–768, 2007.

COMIN, J.; BOURSCHEID, C.; SOUZA, M. Avaliação da arborização de pastagens em Pastoreio Racional Voisin por meio de indicadores quantitativos de qualidade do solo. **Cadernos de Agroecologia**, v. 10, n. 3, p. 1–5, 2016.

CORAZZA, E. J. et al. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 425–432, jun. 1999.

CQFS RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre, Brasil: Sociedade Brasileira de Ciencia do solo, 2004.

CRAESMEYER, K. **Avaliação da ambiência de vacas leiteiras de alta performance criadas em sistema silvipastoril de alta diversidade no sul do Brasil**. [s.l: s.n.].

CRAESMEYER, K.; FILHO, A. S. Utilização da Sombra por Vacas Lactantes sob Sistema Voisin Silvipastoril no Sul do Brasil. **Cadernos de Agroecologia**, v. 11, n. 2, 2017.

DENEFF, K. et al. Microaggregate-associated carbon as a diagnostic fraction for management-induced changes in soil organic carbon in two Oxisols. **Soil Biology and Biochemistry**, 2007.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. In: **Rio de Janeiro: Embrapa Solos**. Rio: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. p. 212.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro**, p. 353, 2013.

EPPING, J. **Grupo de Pastoreio Voisin: Análise da Metodologia**

- Empregada na Implantação de Projetos.** Florianópolis: UFSC, 2003.
- FAO. global forest Resources assessment 2010. **FAO Forestry Paper**, 2010.
- FARLEY, J. Ecosystem services: The economics debate. **Ecosystem Services**, v. 1, p. 40–49, 2012.
- FISHER, A. D. et al. Effects of shade provision on the behaviour, body temperature and milk production of grazing dairy cows during a New Zealand summer. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 51, n. 2, p. 99–105, 22 jun. 2008.
- FRAZÃO, L. et al. Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob uso agrícola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 10, p. 1198–1204, 2010.
- GAGGERO, M. **Alterações Das Propriedades Físicas E Mecânicas Do Solo Sob Sistemas De Preparo E Pastejo.** Porto Alegre: UFRGS, 1998.
- GALLARDO, A. Effect of tree canopy on the spatial distribution of soil nutrients in a Mediterranean Dehesa. **Pedobiologia**, v. 47, n. 2, p. 117–125, jan. 2003.
- GALVÃO, S. R. D. S.; SALCEDO, I. H.; DE OLIVEIRA, F. F. Acumulação de nutrientes em solos arenosos adubados com esterco bovino. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 99–105, 2008.
- GILLESPIE, T. W. et al. The rarest and least protected forests in biodiversity hotspots. **Biodiversity and Conservation**, v. 21, n. 14, p. 3597–3611, 2012.
- GONÇALVES, G.; BORTOLON, L.; MEURER, E. Phosphorus extractors for irrigated rice on soils under reactive phosphate fertilization. **Revista de Ciências**, 2012.
- HARVEY, C.; TUCKER, N.; ESTRADA, A. Live fences, isolated trees, and windbreaks: tools for conserving biodiversity in fragmented tropical landscapes. **Agroforestry and biodiversity**, 2004.
- HAYNES, R.; WILLIAMS, P. Nutrient Cycling and Soil Fertility in the

Grazed Pasture Ecosystem. In: **Advances in agronomy**. Christchurch, New Zealand: New Zealand Institute for Crop and Food Research, 1993. p. 119–199.

HEAL, G. M.; SMALL, A. A. Chapter 25 Agriculture and ecosystem services. In: **Handbook of Agricultural Economics**. Handbook of Agricultural Economics. New York, NY: Elsevier, 2002. v. 2p. 1341.

HOOSBEEK, M. R.; REMME, R. P.; RUSCH, G. M. Trees enhance soil carbon sequestration and nutrient cycling in a silvopastoral system in south-western Nicaragua. **Agroforestry Systems**, p. 1–11, 23 nov. 2016.

IBGE. **IBGE | Cidades | Santa Catarina | Santa Rosa de Lima**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=421560>>. Acesso em: 6 nov. 2015.

J.W. DORAN; SAFLEY, M. Defining and Assessing Soil Health and Sustainable Productivity. **Journal of Environment Quality**, v. 27, n. 5, p. 1275, 1998.

KARLEN, D. L. et al. Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A Guest Editorial). **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, n. 1, p. 4, 1997.

KEMPER, W.; ROSENAU, R. Aggregate stability and size distribution. **American Society of Agronomy**, n. 2, p. 677, 1986.

LIMA, I. M. A.; ARAÚJO, M. C. DE; BARBOSA, R. S. Avaliação das propriedades físicas do solo em sistemas silvipastoris, região centro-norte, estado do Piauí. **Agropecuária científica no semiárido**, v. 9, n. 1, p. 117–124, 2013.

LOSS, A. et al. Carbon and Nitrogen Content and Stock in No-Tillage and Crop-livestock Integration Systems in the Cerrado of Goiás State, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 4, n. 8, p. 96, 10 jul. 2012.

LOSS, A. et al. Agregação, matéria orgânica leve e carbono mineralizável em agregados do solo. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 113, n. 1, p. 1–8, 2014a.

LOSS, A. et al. Atributos físicos e químicos do solo em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoril em Santa Teresa, ES= Physical and chemical attributes. **Bioscience Journal**, 2014b.

LOSS, A. et al. Fertilidade do solo e matéria orgânica em Vertissolo e Argissolo sob cobertura florestal e pastagem. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 1, p. 1–10, 2014c.

LULL, H. W. **Soil compaction on forest and range lands**. . ed. US Department of Agriculture: Forest Service, 1959.

MACHADO, L. **Pastoreio Racional Voisin: tecnologia agroecológica para o terceiro milênio**. 1. ed. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2004.

MALDONADO, A. Métodos de Valoração Econômica Ambiental e Danos Ambientais Causados pela Bovinocultura de Corte. 2006.

MAPBIOMAS. **Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima**. Disponível em: <<http://mapbiomas.org>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

MARTINELLI, L. A. et al. A falsa dicotomia entre a preservação da vegetação natural e a produção agropecuária. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 4, p. 0–0, dez. 2010.

MATSON, P. A. Agricultural Intensification and Ecosystem Properties. **Science**, v. 277, n. 5325, p. 504–509, 25 jul. 1997.

MAURER, F. et al. Serviços Ambientais e a Produção de Leite sob Pastoreio Voisin na Agricultura Familiar: Ativos Ambientais que Devem ser Considerados. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 3830–3834, 2009.

MAY, P. H. et al. Sistemas Agroflorestais e Reflorestamento para Captura de Carbono e geração de renda. **Encontro Da Sociedade Brasileira De Economia Ecológica-Ecoeco**, v. 6, p. 1–33, 2005.

MEA. **Ecosystems and Human Well-being**. [s.l.] Island Press, 2005a. v. 5

MEA. **Ecosystems and Human Well-being: General Synthesis** Island Press, Washington DC, 2005b. Disponível em:

<<http://www.who.int/entity/globalchange/ecosystems/ecosys.pdf%5Cnh>
<http://www.loc.gov/catdir/toc/ecip0512/2005013229.html>>

MELADO, J. Pastagem Ecológica e serviços ambientais da pecuária sustentável. **Revista Brasileira de Agroecologia**, 2007.

MOURA, H. L. S. S. **Desempenho ambiental da produção leiteira em Pastoreio Racional Voisin no Extremo Oeste de Santa Catarina**. **Desempenho ambiental da produção leiteira em Pastoreio Racional Voisin no Extremo Oeste de Santa Catarina**. Florianópolis. PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOSSISTEMAS, , 2015.

MURPHY, B. Greener pastures on your side of the fence: better farming with voisin grazing management. 1987.

PAGIOLA, S. et al. Paying for the environmental services of silvopastoral practices in Nicaragua. **Ecological Economics**, v. 64, n. 2, p. 374–385, dez. 2007.

PIRES, F. R. et al. **Porosidade e Densidade Do Solo Em Sistema Silvopastoril** Simposio mineiro de ciencia do solo. **Anais...2013**

PORTUGAL, A. et al. Aggregate stability in an ultisol under different uses, compared with forest. **Revista Ceres**, 2010.

POWER, A. G. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. **Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences**, v. 365, n. 1554, p. 2959–71, 27 set. 2010.

PULIDO, F.; DÍAZ, M.; TRUCIOS, S. DE. Size structure and regeneration of Spanish holm oak *Quercus ilex* forests and dehesas: effects of agroforestry use on their long-term sustainability. **Forest Ecology and Management**, 2001.

RAMOS, L. S. **Eficiência De Um Sistema Silvopastoril Em Substituição À Adubação Nitrogenada E a Sua Relação Com a**

Dinâmica Da Matéria Orgânica Em Solo Distrocoeso. SÃO CRISTÓVÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE, 2013.

RASSE, D.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. **Plant and soil**, 2005.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade Dos Solos E Sustentabilidade De Sistemas Agrícolas. **Ciência & Ambiente**, v. v. 27, n. 1, p. 20, 2003.

REIS, A.; KAGEYAMA, P. Y. **Restauração de áreas degradadas utilizando interações interespecíficas.** Botucatu: Fundação de Estudo e Pesquisas Agrícolas e FlorestaisFEPAF, 2003., 2003.

REIS, G. L. et al. Influence of trees on soil nutrient pools in a silvopastoral system in the Brazilian Savannah. **Plant and Soil**, v. 329, n. 1–2, p. 185–193, 2 set. 2009.

RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141–1153, 2009.

SALIMON, C. I. et al. Dinâmica do Carbono na Conversão de Floresta para Pastagens em Argissolos da Formação Geológica Solimões , no Sudoeste da Amazônia . **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, p. 29–38, 2007.

SANTOS, H. G. DOS et al. **Sistema brasileiro de classificação de Solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA SOLOS, 2013.

SAVORY, A.; BUTTERFIELD, J. Holistic management: a new framework for decision making. 1998.

SCHMITT, A et al. Integrating agroecology with payments for ecosystems services in Santa Catarina's Atlantic Forest. In: R MURADIAN AND L RIVAL (Ed.). **Governing the Provision of Ecosystems Services, Studies in Ecological Economics.** Burlington, VT: , 2013. p. 481.

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

SEÓ, H. L. S. Avaliação do Ciclo de Vida e estoque de carbono da produção leiteira em Pastoreio Racional Voisin Avaliação do Ciclo de Vida e estoque de carbono da produção leiteira em Pastoreio Racional Voisin. 2015.

SHARROW, S. H. Soil compaction by grazing livestock in silvopastures as evidenced by changes in soil physical properties. **Agroforestry Systems**, v. 71, n. 3, p. 215–223, 2007.

SILVA, A. A. et al. **DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO EM SISTEMA VOISIN SILVIPASTORIL COM NÚCLEOS (VoisinSSP+Núcleos)** IV convencion internacional agrodesarollo. 2016

SILVA, J. DA; CASTELETTI, C. Status of the biodiversity of the Atlantic Forest of Brazil. **The Atlantic Forest of South**, 2003.

SISTI, C.; SANTOS, H. DOS; KOHHANN, R. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and tillage**, 2004.

SOANE, B. D.; OUWERKERK, C. VAN. Soil compaction problems in world agriculture. **Soil Compaction in Crop Production**, p. 1–9, 1994.

SOLDÁ, C. C. et al. Avaliação da Sustentabilidade em Pastagens. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 9, n. 1, p. 86–91, 2014.

SÓRIO, H. **Pastoreio Voisin: Teorias Práticas Vivências**. Carazinho: UPF, 2003.

SOS MATA ATLÂNTICA. **INPE (2014) Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2012-2013**. São Paulo, 2014.

SOUSSANA, J. F.; TALLEC, T.; BLANFORT, V. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. **Animal**, v. 4, n. 3, p. 334–50, 2010.

STEENBOCK, W., SEOANE, C. E., FROUFE, L. C. M. **Agrofloresta, Ecologia e Sociedade**. kairós ed. Curitiba: , 2013. v. 122

SURDI, J. 12322-O fluxo de serviços ecossistêmicos na agricultura familiar da Encosta da Serra Catarinense. **Cadernos de Agroecologia**, 2011.

TANNER, C. B.; MAMARIL, C. P. Pasture Soil Compaction by Animal Traffic. **Agronomy Journal**, v. 51, n. 6, p. 329, 1 jun. 1959.

TEDESCO, M.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. V. 5 ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,: Boletim Técnico, 1995.

TILMAN, D. Global environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 96, n. 11, p. 5995–6000, 25 maio 1999.

TILMAN, D. Forecasting Agriculturally Driven Global Environmental Change. **Science**, v. 292, n. 5515, p. 281–284, 13 abr. 2001.

TIVET, F. et al. Aggregate C depletion by plowing and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. **Soil and tillage**, 2013.

TOLLEFSON, J. The Global Farm. **Nature**, v. 466, n. 7306, p. 554–556, 2010.

TORRES, J. L. R.; RODRIGUES JUNIOR, D. J.; VIEIRA, D. M. DA S. Alterações nos atributos físicos do solo em função da irrigação e do pastejo rotacionado. **IRRIGA**, v. 18, n. 3, p. 558–571, 2013.

TREIN, C.; COGO, N.; LEVIEN, R. Metodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo, na rotacao aveia+trevo/milho, apos pastejo intensivo.. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 1991.

UBERTI, A. A. A. Santa Catarina: Proposta de Divisão Territorial em Regiões Edafoambientais Homogêneas. p. 201, 2005.

URQUIAGA, S.; ALVES, B. Produção de biocombustíveis A questão do balanço energético. **Revista de política**, 2005.

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

Voisin, A. (1988). **Grass productivity**. Island Press. Chicago

WAGGER, M.; DENTON, H. Influence of cover crop and wheel traffic on soil physical properties in continuous no-till corn. **Soil Science Society of America Journal**, v. 53, n. 4, p. 1206–1210, 1989.

WHALEN, J. K. et al. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, n. 1, p. 962–966, 2000.

ZHANG, W. et al. Ecosystem services and dis-services to agriculture. **Ecological Economics**, v. 64, n. 2, p. 253–260, dez. 2007.