

FERNANDO VERDI GUAZZELLI

**RESILIÊNCIA DE UM LATOSSOLO BRUNO DEGRADADO SUBMETIDO A
MANEJO AGRÍCOLA SUSTENTÁVEL POR SEIS ANOS**

LAGES – SC

2018

FERNANDO VERDI GUAZZELLI

**RESILIÊNCIA DE UM LATOSSOLO BRUNO DEGRADADO SUBMETIDO A
MANEJO AGRÍCOLA SUSTENTÁVEL POR SEIS ANOS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC.

Orientadora: Dra. Letícia Sequinatto
Co-orientador: Dr. Júlio Cesar Pires Santos

LAGES – SC

2018

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com
auxílio do programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC

Guazzelli, Fernando Verdi

Resiliência de um Latossolo Bruno degradado
submetido a manejo agrícola sustentável por seis
anos / Fernando Verdi Guazzelli. - Lages , 2018.
108 p.

Orientadora: Letícia Sequinatto

Co-orientador: Julio Cesar Pires Santos
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado
de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Ciência Do Solo, Lages, 2018.

1. Qualidade do solo. 2. Sistema de manejo. 3.
Sustentabilidade. I. Sequinatto, Letícia. II.
Santos, Julio Cesar Pires. , .III. Universidade do
Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Ciência Do Solo. IV. Título.

FERNANDO VERDI GUAZZELLI

**RESILIÊNCIA DE UM LATOSSOLO BRUNO DEGRADADO SUBMETIDO A
MANEJO AGRÍCOLA SUSTENTÁVEL POR SEIS ANOS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC.

Orientadora: _____

Dra. Letícia Sequinatto
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro: _____

Dra. Luciane Costa de Oliveira
Instituto Federal de Santa Catarina

Membro: _____

Dr. Ildegardis Bertol
Universidade do Estado de Santa Catarina

Lages, SC, 26 de fevereiro de 2018.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao solo. Humilde, dadivoso. Fonte de vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, a Grande Harmonia.

A minha esposa Irene e ao meu filho Lucas, pelo apoio incondicional durante todo o transcorrer do curso de mestrado.

A minha orientadora, Prof^a Letícia Sequinatto, pela amizade, ensinamentos, generosidade e dedicação incomuns.

Ao meu co-orientador, Prof. Júlio Cesar Pires Santos, pela amizade e identificação.

Ao Prof. David José Michelluti, pela amizade e pela inestimável ajuda com o tratamento estatístico dos dados.

Aos professores Ildegardis Bertol e Álvaro Mafra, pela amizade e ensinamentos.

Aos colegas do Museu de Solos, Josie Moraes Mota e Gustavo Eduardo Pereira, pela amizade e pela importante ajuda, tanto nas análises laboratoriais quanto na dissertação.

A todos os bolsistas e voluntários do Museu de Solos, pela grande ajuda durante as coletas de solo e análises de laboratório.

Aos colegas do Laboratório de Gênese e Mineralogia de Solos, em especial ao amigo Fagner Taiano dos Santos Silva.

RESUMO

GUAZZELLI, Fernando Verdi. **RESILIÊNCIA DE UM LATOSSOLO BRUNO DEGRADADO SUBMETIDO A MANEJO AGRÍCOLA SUSTENTÁVEL POR SEIS ANOS**. 2018. 108p. Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC. Lages, 2018.

A área de cultivo do alho (*Allium sativum*, L.) aumentou exponencialmente, na última década, na região dos Campos de Cima da Serra do RS, ocupando áreas de campos naturais e de cultivo estival de grãos, onde entra como opção de sucessão, no inverno. O sistema convencional de manejo do solo utilizado para esta cultura caracteriza-se por intenso revolvimento do solo, o que causa a perda da qualidade física e a consequente degradação. A resiliência dos solos é um assunto ainda pouco pesquisado. Neste trabalho, partiu-se da hipótese de que o Latossolo Bruno estudado apresenta a capacidade de resiliência. Objetivou-se, assim, investigar a resiliência deste solo, degradado pelo cultivo de alho, após seis anos de conversão para cultivo conservacionista. O estudo foi realizado na Fazenda Meia-Lua, no município de Campestre da Serra – RS. Foram avaliados os solos em três diferentes tratamentos: cultivo orgânico de amora (COA), onde se investigou a resiliência; mata nativa (MTN); e sucessão alho-soja (SAS). Foram analisados atributos físicos e químicos do solo. Os físicos foram textura, densidade de partículas (Dp), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), agregação (estabilidade de agregados – EA e diâmetro médio geométrico – DMG) e a infiltração. Esta última representou o eixo principal da pesquisa, por traduzir inúmeros atributos físicos relacionados a qualidade do solo. Os atributos químicos avaliados foram carbono orgânico total (COT), pH, Al^{+3} , Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^{+1} . A amostragem foi feita em quatro pontos de coleta por tratamento, em três camadas: 1 (0,0-0,05 m), 2 (0,05-0,10 m) e 3 (0,10-0,20 m). A infiltração foi medida *in situ*, com o uso de anéis concêntricos, em três repetições por tratamento. Os resultados mostraram que o maior teor de COT na camada 1 foi encontrado na MTN, com valor expressivo, seguida por COA; nas demais camadas, foi encontrado em SAS. Nas camadas 1 e 3, COA apresentou o menor valor entre os tratamentos para Ds e o maior para Pt; na camada 2 não houve diferença estatística entre os tratamentos para estes atributos. Em relação ao DMG, a MTN apresentou o maior valor na camada 1; na camada 2, COA e SAS; e, na camada 3, SAS. O solo do tratamento COA apresentou valores muito superiores aos demais para taxa e capacidade de infiltração, seguido por MTN e, por último, SAS, que apresentou valores muito baixos de infiltração. Nesta pesquisa, enfim, a infiltração foi o principal parâmetro de avaliação da qualidade física do solo e da recuperação do solo degradado no tratamento COA, uma vez que os fluxos de água neste foram altos e superiores ao MTN, demonstrando a qualidade estrutural dos poros do solo. Dessa forma, concluiu-se que o Latossolo Bruno estudado tem a capacidade de resiliência, sendo capaz de expressá-la quando manejado de forma sustentável.

Palavras-chave: Qualidade do solo. Sistema de manejo. Sustentabilidade.

ABSTRACT

GUAZZELLI, Fernando Verdi. **RESILIENCE OF A DEGRADED BRUNO LATOSOL SUBMITTED TO SUSTAINABLE AGRICULTURAL MANAGEMENT FOR SIX YEARS.** 2018. 108p. Dissertation presented as a partial requirement to obtain a Master's degree in the Postgraduate Course in Soil Science of the State University of Santa Catarina - UDESC. Lages, 2018.

The area cultivation of garlic (*Allium sativum*, L.) has increased considerably in the region of “Campos de Cima da Serra” in the state of RS in the last decade, occupying areas of natural fields and summer grain cultivation, which comes as an option of succession in the winter. The conventional system of soil management that is used for this cultivation is characterized by intense soil stirring, which causes loss of physical quality and the consequent degradation. The resilience of soils is a subject that has not yet been researched enough. In this academic work, it was assumed that the Latosso Bruno that was studied shows resilience capacity. Therefore, it was aimed at the investigation of resilience of this soil, which was degraded by the cultivation of garlic, after six years of conversion to conservationist cultivation. The study was carried out on “Meia Lua” farm in the municipality of “Campestre da Serra” – RS. The soils were evaluated in three different treatments: organic cultivation of blackberry (COA), where the resilience was investigated; native forest (MTN); and succession garlic-soybean (SAS). Physical and chemical attributes of the soil were analyzed. The physical ones were in relation to texture, soil particle density (Dp), soil bulk density (Ds), soil total porosity (Pt), aggregation (soil stability of aggregates – EA, and soil geometric mean diameter - DMG) and infiltration. The latter one represented the main axis of the research, for translating innumerable physical attributes in relation to the quality of the soil. The evaluated chemical attributes were total organic carbon (COT), pH, Al^{+3} , Ca^{+2} , Mg^{+2} and K^{+1} . The sampling was done at four points of collection per treatment, in three depths: 0.0-0.05 m, 0.05-0.10 m and 0.10-0.20m. The infiltration was measured *in situ*, with the use of concentric rings, in three repetitions per treatment. The results showed that highest content of “COT”, in depth 1, was found in “MTN”, with expressive value followed by “COA”; in the other depths, it was found in “SAS”. In depths 1 and 3, “COA” showed the lowest value among the treatments for “Ds” and higher for “Pt”; in depth 2 there was not any statistical difference among the treatments for these attributes. In relation to “DMG”, the “MTN” showed the highest value in depth 1; in depth 2, “COA” and “SAS” and, in depth 3, “SAS”. The soil of “COA” treatment showed much higher values in relation to the others for rate and infiltration capacity, followed by “MTN” and lastly, “SAS”, which showed very low infiltration values. In this research, at last, the infiltration was the main parameter of evaluation of the physical quality of the soil and the recovery of the degraded soil in the “COA” treatment, since the water flows in this one were high and superior to “MTN”, demonstrating the structural quality of soil pores. Therefore, it was concluded that the Latossolo when it is handled in a sustainable way, it can be testified it has resilience capacity.

Keywords: Soil quality. Management system. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo: Fazenda Meia-Lua, no município de Campestre da Serra, RS.....	56
Figura 2 – Aspecto da área do tratamento 1 (COA), fevereiro de 2017.....	58
Figura 3 - Aspecto da área do tratamento 2 (MTN), fevereiro de 2017.....	60
Figura 4 – Aspecto dos canteiros de alho em SAS. Inverno de 2016.....	61
Figura 5 – Detalhe de raiz da soja dobrada por enfrentar resistência à penetração de raízes abaixo da camada de solo revolvida (pé-de-grade).	62
Figura 6 – Localização e posição relativa dos três tratamentos dentro da área de estudo.....	63
Figura 7 – Coleta de solo em SAS. Fevereiro de 2017.....	64
Figura 8 – Coleta de solo com estrutura preservada em COA. Fevereiro de 2017.	66
Figura 9 – Triângulo para determinação das classes texturais utilizado pela SBCS.....	67
Figura 10 – Taxa de infiltração de água no tratamento Cultivo orgânico de amora (COA)	86
Figura 11 – Taxa de infiltração de água no tratamento Mata Nativa (MTN).....	86
Figura 12 – Taxa de infiltração de água no tratamento Sucessão alho-soja (SAS)	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Porcentagem das frações argila, silte e areia e a classe textural, por camada, nos tratamentos avaliados. COA = cultivo orgânico de amora; MTN = mata nativa; SAS = sucessão alho-soja.	73
Tabela 2 – Carbono orgânico total (COT), densidade de partículas (Dp), densidade do solo (Ds) e Porosidade total (PT) dos tratamentos avaliados.....	75
Tabela 3 – Distribuição de agregados por classe de tamanho	79
Tabela 4 – Comparativo entre os tratamentos para diâmetro médio geométrico (DMG), por camada.	81
Tabela 5 – Índice de estabilidade de agregados - IEA	84
Tabela 6 – Umidade gravimétrica do solo (UG) na camada de 0,0 – 0,20 m no momento da realização do teste de infiltração. Média das três repetições em cada tratamento.....	85
Tabela 7 – Taxa de infiltração de água no solo para cada tratamento, em tempo específicos.	90
Tabela 8 – Comparativo entre os tratamentos para os atributos químicos do solo: pH, Al ³⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ e K ⁺	92

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
2 HIPÓTESE.....	24
3 OBJETIVOS	24
3.1 OBJETIVO GERAL.....	24
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
4 REVISÃO DA LITERATURA	25
4.1 RESILIÊNCIA	25
4.1.1 Resiliência – o conceito aplicado ao solo	26
4.1.1.1 Resistência e resiliência	26
4.1.1.2 Clima.....	27
4.1.1.3 Cobertura do solo	27
4.1.1.4 Conteúdo de Carbono orgânico.....	27
4.1.1.5 Conceito referencial	29
4.2 SUSTENTABILIDADE.....	29
4.2.1 A sustentabilidade e o solo.....	30
4.2.1.1 Dimensionando o problema	30
4.2.1.2 Solo: uma visão sistêmica	32
4.2.1.3 Seguindo os padrões de funcionamento da natureza.....	33
4.2.1.3.1 Permacultura.....	33
4.2.1.3.2 Sintropia	34
4.2.1.3.3 Biomimética	34
4.2.1.4 Agrotóxicos	35
4.2.1.5 Agroecologia: solo como base da sustentabilidade dos agroecossistemas	36
4.3 QUALIDADE DO SOLO (QS).....	37
4.3.1 Qualidade física do solo	39
4.3.1.1 O manejo adotado e a qualidade física do solo	39
4.3.1.2 Importância do não revolvimento do solo e da presença de resíduos culturais na superfície	40
4.3.1.3 Teor de carbono e qualidade física do solo	43
4.3.1.4 Infiltração de água no solo	43
4.3.2 Qualidade química do solo.....	45
4.3.2.1 Qualidade química e teor de carbono orgânico total.....	46
4.3.2.2 Qualidade química e pH.....	47

4.3.2.3 O Al^{3+} e a qualidade química do solo.....	48
4.3.2.4 O papel do K^{+}	48
4.3.2.5 O Ca^{2+} e a qualidade química do solo	49
4.3.2.6 Importância do Mg^{2+}	50
4.3.2.7 Qualidade química pela reciclagem de nutrientes: caminho para a sustentabilidade na agricultura	51
4.4 CAPACIDADE DE USO DA TERRA.....	51
4.4.1 Uso da terra: a percepção do agricultor	52
4.5 CONHECIMENTO CIENTÍFICO E CONHECIMENTO TÁCITO DOS AGRICULTORES: UM DIÁLOGO NECESSÁRIO E PRODUTIVO	53
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	55
5.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E SOLO.....	55
5.2 TRATAMENTOS	56
5.2.1 Tratamento 1: Cultivo orgânico de amora – COA	57
5.2.2 Tratamento 2: Mata nativa – MTN.....	59
5.2.3 Tratamento 3: Sucessão alho-soja – SAS	60
5.2.3.1 Cultivo do alho em 2016	61
5.2.3.1.1 Correção do solo e adubações.....	61
5.2.3.1.2 Preparo do solo	61
5.2.3.1.3 Tratamentos fitossanitários	62
5.3 COLETAS DE SOLO PARA ANÁLISES FÍSICAS, QUÍMICAS E DE CARBONO ORGÂNICO.....	63
5.3.1 Época de coleta.....	63
5.3.2 Umidade do solo.....	64
5.3.3 Metodologia de coleta	64
5.3.3.1 Localização	64
5.3.3.1.1 Tratamento 1 – Cultivo orgânico de amora (COA)	64
5.3.3.1.2 Tratamento 2 – Mata nativa (MTN)	65
5.3.3.1.3 Tratamento 3 – Sucessão alho-soja (SAS):.....	65
5.3.3.2 Profundidade de coleta: determinação das camadas avaliadas.....	65
5.3.3.3 Formas de coleta do solo	65
5.3.3.3.1 Agregados, densidade de partículas, análises químicas e carbono orgânico	65
5.3.3.3.2 Porosidade total e densidade do solo	66
5.4 ANÁLISES LABORATORIAIS	67
5.4.1 Físicas	67

5.4.1.1 Granulometria	67
5.4.1.2 Densidade de partículas, densidade do solo e porosidade total	67
5.4.1.3 Distribuição do tamanho e estabilidade de agregados estáveis em água	68
5.4.2 Análises químicas e carbono orgânico total.....	69
5.4.2.1 pH.....	70
5.4.2.2 Alumínio	70
5.4.2.4 Cálcio e Magnésio.....	70
5.4.2.5 Carbono orgânico total.....	70
5.5 ANÁLISES REALIZADAS <i>IN SITU</i>	71
5.5.1 Infiltração de água no solo	71
5.6 PROCEDIMENTOS ESTATÍSTICOS	72
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
6.1 ATRIBUTOS FÍSICOS e COT	73
6.1.1 Textura	73
6.1.2 Carbono orgânico total – COT.....	74
6.1.3 Densidade de partículas, densidade do solo e porosidade total	76
6.1.4 Agregação	78
6.1.4.1 Distribuição das classes de agregados.....	78
6.1.4.1.1 Classes de agregados: comparativo entre tratamentos por camada de solo	79
6.1.4.1.2 Classes de agregados por tratamento.....	80
6.1.4.2 Diâmetro médio geométrico de agregados (DMG).....	80
6.1.4.3 Índice de estabilidade de agregados – IEA	83
6.1.5 Infiltração	84
6.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS	91
6.2.1 pH.....	91
6.2.2 Alumínio	93
6.2.3 Cálcio	94
6.2.4 Magnésio	94
6.2.5 Potássio	94
6.2.6 Abordagem sistêmica.....	95
7 CONCLUSÃO.....	97
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	98
9 REFERÊNCIAS	100

1 INTRODUÇÃO

Nos variados usos da terra implementados nas atividades de produção agropecuária, diferentes manejos do solo são adotados. A literatura científica é farta em trabalhos que comprovam as vantagens, tanto do ponto de vista produtivo quanto ambiental, de sistemas conservacionistas de manejo do solo, que minimizam o seu revolvimento, comparativamente àqueles manejos mais intensivos, com maior revolvimento do solo. Na prática, entretanto, nem sempre as evidências científicas determinam o manejo a ser adotado pelos produtores rurais, seja pelo desconhecimento das mesmas, seja por resistência cultural à mudança de manejo. Desse modo, em muitos casos, o solo ainda é submetido a sistemas com intenso revolvimento, como no caso da produção de olerícolas – especialmente o alho (*Allium sativum*) – nas regiões da Encosta Superior do Nordeste e Campos de Cima da Serra, ambas no estado do Rio Grande do Sul. Os canteiros são preparados a partir de subsolagem, gradagens e uso de enxada-rotativa, com todas as consequências nocivas daí decorrentes, como desagregação e desestruturação, mineralização da MOS, diminuição acentuada da infiltração, erosão por escoamento superficial, entre outras. Com isso, ocorre significativa perda da qualidade do solo (QS). A erosão, como processo degenerativo culminante neste processo, arrasta declive abaixo toneladas de solo das camadas superficiais, justamente aquelas mais ricas em MOS e nutrientes minerais. É sabido que apenas 1 cm de solo pode levar 100 anos para se formar; isto nos dá uma dimensão da gravidade do problema. Sobretudo nas referidas regiões, que apresentam relevo suave ondulado, ondulado e forte ondulado, o que contribui para o processo erosivo.

O cultivo de alho em propriedades rurais dos municípios da Encosta Superior do Nordeste do RS já acontece há décadas. Entretanto, devido à maior renda por hectare que esta cultura proporciona, há pouco mais de uma década ela vem ocupando também áreas na vizinha região dos Campos de Cima da Serra, de maior altitude e mais fácil mecanização, em função do relevo mais suave. Isto colaborou para a substituição da vegetação nativa original – de campos naturais – pelo cultivo de alho, em diversos municípios da região, assim como para sua introdução em áreas já consolidadas para o cultivo de grãos, como soja e milho. Nestes casos, a cultura entrou em sucessão, no período hibernar, possibilitando uma importante renda adicional aos agricultores, até superior à proporcionada pelos grãos no verão, por ha.

É comum o abandono – mesmo que por alguns anos – das áreas onde foi cultivado alho por anos seguidos (usualmente 4 ou 5 anos de cultivo), ou o cultivo de outras espécies, em função de problemas fitossanitários que costumam surgir. De um ponto de vista

estritamente químico, tais áreas apresentam-se corrigidas e com bons níveis de fertilidade, devido ao grande aporte de corretivos e fertilizantes químicos e orgânicos. Por outro lado, do ponto de vista físico e também biológico, a situação é inversa, restando um solo completamente degradado e com baixa qualidade. Assim, com base em uma visão sistêmica, pode-se afirmar que o solo, como um todo, perdeu qualidade, o que indica queda no potencial produtivo e nos serviços ambientais essenciais que dele dependem, como regulação dos ciclos da água, do carbono, do nitrogênio, etc.

Diante disso, apresenta-se um questionamento, que originou o problema estudado nesta pesquisa: o que acontece com o solo a partir daí? Em outras palavras, deixando de sofrer os constantes revolvimentos que prejudicaram sua qualidade, conseguirá ou não, com o passar do tempo, recuperar sua estrutura e funcionamento? Isto remete a uma ideia de regeneração, ou seja, a uma capacidade de recuperação que o solo possa apresentar: a resiliência. Esta capacidade permite ao que a possui recuperar-se ou regenerar-se após ter sofrido um distúrbio que o tenha feito perder suas características originais – neste caso, a qualidade do solo.

Este trabalho se norteou pela hipótese proposta de que o Latossolo Bruno estudado apresenta resiliência e, por isso, é capaz de recuperar sua qualidade física depois desta ser prejudicada por manejos deletérios, após transcorridos seis anos do cessamento dos mesmos.

2 HIPÓTESE

O Latossolo Bruno com estrutura e funcionamento prejudicados pelo sistema de manejo com intenso revolvimento apresenta capacidade de resiliência, quando submetido a manejo agrícola sustentável por seis anos, sem revolvimento e com manutenção de cobertura vegetal, recuperando a qualidade necessária para exercer as suas funções.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

- Investigar a resiliência de um Latossolo Bruno, após seis anos da conversão de manejo com intenso revolvimento para manejo sustentável.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Caracterização geral do solo;
- 2) Analisar os atributos físicos, químicos e teor de matéria orgânica, em três diferentes sistemas de manejo do solo: manejo sustentável (cultivo orgânico de amora; COA), mata nativa (MTN) e manejo com intenso revolvimento (sucessão alho-soja; SAS);
- 3) Estudar as inter-relações entre os atributos avaliados para os diferentes sistemas de manejo;
- 4) Comparar os diferentes sistemas de manejo quanto à qualidade do solo (QS);
- 5) Verificar a capacidade de resiliência do solo.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 RESILIÊNCIA

Segundo o Dicionário Aurélio de Português OnLine (2017), resiliência indica a propriedade de um corpo de recuperar a sua forma original após sofrer choque ou deformação; ou ainda, a capacidade de superar ou de recuperar-se de adversidades. Na atualidade, o termo resiliência é utilizado em diferentes áreas do conhecimento, com significados específicos. Originada do Latim – *resiliens* – a palavra foi primeiramente utilizada nas áreas da Física e da Engenharia, sendo, com o passar do tempo, incorporada ao vocabulário de outras áreas do conhecimento, incluindo as humanas. Na Psicologia, a resiliência é vista como a razão pela qual um mesmo evento tenha consequências diferentes para pessoas distintas. É definida como uma capacidade universal que possibilita à pessoa, grupo ou comunidade prevenir, minimizar ou superar os efeitos nocivos das adversidades, podendo assim sair destas situações transformados ou mesmo fortalecidos, porém não ilesos (ANGST, 2009). Percebe-se que, nos diferentes contextos em que é utilizada, a resiliência sempre remete à ideia de recuperação, de regeneração.

As inter-relações entre os seres humanos e o restante do ambiente do qual fazem parte são intrinsicamente complexas (APELDOORN; SONNEVELD, 2011). Os agroecossistemas não são exceção: os humanos ali interagem com comunidades de plantas, animais, solo, etc., de modo a manter e melhorar as condições de vida. Para melhor compreender estes processos, a perspectiva da resiliência tem sido cada vez mais utilizada como uma abordagem integrativa para sistemas socio-ecológicos (FOLKE, 2006). A resiliência destes sistemas, incluídos aí os agroecossistemas, pode ser definida como a capacidade subjacente do sistema em manter um estado desejável dos serviços ecossistêmicos face às atividades humanas, dentro de um

ambiente dinâmico. O ponto no qual um estado relativamente estável dá lugar a outro é chamado de limite. Em agroecossistemas, os limites tidos como cruciais são influenciados por um determinado número de lentos processos de controle, como mudanças no teor de matéria orgânica do solo, por exemplo (APELDOORN; SONNEVELD, 2011).

4.1.1 Resiliência – o conceito aplicado ao solo

Na ciência do solo, o termo resiliência refere-se à capacidade que um solo apresenta de recuperar sua integridade estrutural e funcional após sofrer um distúrbio (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). Ou, em outras palavras, a habilidade que um solo tem de recuperar-se de degradação (ou do estresse a que foi submetido), a qual pode ser de origem antropogênica ou natural, e retornar a um novo equilíbrio, semelhante à condição ou estado antecedente (BAVOSO et al., 2012).

4.1.1.1 Resistência e resiliência

Considerando-se os vários aspectos da qualidade do solo (QS), têm-se os componentes ligados à resistência ou estabilidade do solo e aqueles ligados à sua resiliência. A resistência é a capacidade que um solo tem de resistir a mudanças causadas por um distúrbio. Ou ainda, é a estabilidade do solo frente aos estresses sofridos, referindo-se diretamente ao grau de suscetibilidade do solo à degradação. Já a resiliência refere-se à habilidade intrínseca do solo em recuperar-se de estresse sofrido ou de degradação, atingindo um novo estado de equilíbrio (BAVOSO et al., 2012).

Os solos são submetidos a diversos processos degradativos, como erosão, compactação, salinização, acidificação. Entretanto, a maioria dos solos tem a capacidade inerente de resistir a perturbações, sejam endógenas ou exógenas, e de recuperar-se, dependendo da severidade e da duração do processo degradativo, assim como da intensidade dos mecanismos restaurativos. Ou seja, um solo possui uma capacidade regenerativa inerente, a qual, em interação com um manejo apropriado, pode reverter a degradação do solo (BLANCO-CANQUI; LAL, 2010).

4.1.1.2 Clima

Dentre os fatores que afetam a resiliência do solo, o clima tem papel destacado. Os parâmetros climáticos influenciam na magnitude e na velocidade da capacidade de recuperação dos distúrbios no solo, sendo esta maior em climas úmidos que nos secos. Os fenômenos climáticos que alteram a resiliência incluem precipitação, temperatura, radiação, umidade do ar e demanda evaporativa, além de processos ligados ao intemperismo (LAL, 1994).

4.1.1.3 Cobertura do solo

Solo coberto é mais resiliente do que um solo nu. A cobertura do solo, seja com plantas vivas ou com resíduos, desempenha função essencial na proteção contra o impacto das gotas de chuva e as consequentes desagregação e erosão. Evita a flutuação brusca de temperatura e umidade e favorece os processos biológicos (VEZZANI, 2001).

Em sistemas conservacionistas de manejo do solo, o uso de plantas de cobertura apresenta-se como uma prática básica, pois protege a superfície contra os agentes erosivos, adiciona ao solo carbono fotossintetizado e nitrogênio fixado biologicamente, recicla nutrientes e melhora a estabilidade estrutural, além de destacar o efeito físico das raízes sobre a formação e manutenção dos agregados do solo (SCHICK et al., 2000; AMADO; MIELNICZUK, 2000).

Nos sistemas de manejo que utilizam plantas de cobertura, as gramíneas perenes apresentam ação agregante mais prolongada que as leguminosas, graças à presença de um sistema radicular fasciculado, mais denso e com maior contato com as partículas do solo. Porém, as leguminosas anuais de inverno desempenham um papel mais efetivo no curto prazo, pois apresentam uma relação C/N baixa, favorecendo a decomposição microbiana (BORGES et al., 1994; CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990).

4.1.1.4 Conteúdo de Carbono orgânico

A maior parte do carbono orgânico (CO) da superfície do planeta (entre 85 e 95%) encontra-se na matéria orgânica humificada (CANELLAS; SANTOS, 2005). A matéria orgânica do solo (MOS) é um sistema complexo, integrado por diversos componentes, cujo dinamismo está ligado à incorporação de resíduos vegetais, animais e microbianos ao solo e à

transformação e evolução destes, mediadas por vários processos ecológicos sucessivos (LABRADOR; MORENO).

Evidências do conhecimento sobre húmus remontam ao início da agricultura, há cerca de 10.000 anos. Hoje, sabe-se que muito além de fornecer nutrientes às plantas e condicionar as propriedades químicas, físicas e microbiológicas do ambiente, a MO humificada estabelece uma inter-relação íntima e complexa com a planta e seu metabolismo. Durante milhões de anos de evolução, as plantas interagiram dinamicamente e continuamente com o componente orgânico do solo, desenvolvendo novas rotas de sinalização celular, mudanças genéticas e bioquímicas inicialmente importantes para a diversificação e disseminação das plantas no planeta que, posteriormente, passaria a assumir um papel fundamental na adaptação das plantas do ambiente silvestre para o domesticado, que teve curso com o desenvolvimento da agricultura (CANELLAS; SANTOS, 2005).

O conteúdo de CO é determinante da resiliência. Com fluxo alto de compostos orgânicos, o sistema solo tem condições de se auto-organizar em macroagregados com grande capacidade de reter energia e matéria armazenada na forma de C. Nessa condição, há melhorias em diversos aspectos: na resistência à erosão hídrica e eólica; infiltração e retenção de água no solo; sequestro de C; capacidade de retenção de cátions; aumento do estoque de nutrientes; adsorção e complexação de compostos orgânicos e inorgânicos; favorecimento da biota do solo; promoção da ciclagem dos elementos químicos; e, conseqüentemente, maior resistência a perturbações e maior resiliência. Por outro lado, quando a magnitude do fluxo é baixa, o sistema solo se auto-organiza em estados de ordem menores e mais simples (microagregados). Nessa condição, o solo perde a habilidade para exercer suas funções e tem sua qualidade reduzida (VEZZANI, 2001).

A perturbação antrópica de qualquer sistema estável (solo + cobertura vegetal) tende a causar mais perdas do que ganhos de C, acarretando diminuição da qualidade do solo (QS) ao longo do tempo. Tais perdas são devidas à liberação de CO² na respiração, devida à decomposição da MOS por hidrólise microbiana, da lixiviação e perda de compostos por erosão hídrica, sendo estas últimas duas vias de magnitude menor em solos subtropicais (BAYER; BERTOL, 1999).

Segundo Janzen (2015), é urgente a necessidade de um entendimento mais adequado do CO, para que não seja visto apenas como um estoque segregado no planeta, passando a ocupar seu verdadeiro lugar central, como um núcleo dinâmico nos ciclos de energia dos nossos ecossistemas.

4.1.1.5 Conceito referencial

Há consenso entre os autores em relação ao conceito de resiliência proposto por Seybold et al. (1999), que a define como sendo *a capacidade de um solo de recuperar sua integridade estrutural e funcional após sofrer um distúrbio* (BLANCO-CANQUI; LAL, 2010; BAVOSO et al., 2012; VEZZANI; MIELNICZUK, 2009; SEYBOLD et al., 1999). Por esta razão, este foi o conceito adotado no presente trabalho. A integridade funcional destacada no conceito e que, em última análise, revela a efetividade da qualidade estrutural, esta representada aqui pela taxa e pela capacidade de infiltração medidas. De qualquer modo, se o solo de fato apresentou resiliência, é porque os mecanismos de recuperação (SEYBOLD et al., 1999) estavam presentes e ativos, mesmo após o período de intensos distúrbios.

A resiliência, em combinação com a resistência, constitui importante componente da QS, além de ser elemento chave para a sustentabilidade (SEYBOLD et al., 1999). Ainda segundo estes autores, os fatores que afetam a resiliência, bem como a resistência do solo são o tipo (ordem, subordem, etc.), a vegetação, o clima, o uso da terra adotado, a escala e o regime de perturbações ou distúrbios. A manutenção de mecanismos de recuperação, inclusive após a ocorrência de um distúrbio, é crítica para a restauração do sistema solo. Três abordagens podem ser adotadas para avaliar a resiliência do solo: 1- Medindo-se diretamente a recuperação após um distúrbio; 2- Quantificando a integridade dos mecanismos de recuperação após um distúrbio; e 3- medindo propriedades que servem como indicadores dos mecanismos de recuperação. Assim, o estudo da resiliência passou a ser adotado visando contemplar a *sustentabilidade do recurso solo e combater sua degradação* (SEYBOLD et al., 1999). Com base nestas premissas, buscou-se, a seguir, conceituar e compreender melhor o que é sustentabilidade e como esta pode ser alcançada nos sistemas de manejo do solo.

4.2 SUSTENTABILIDADE

A sustentabilidade é definida pela FAO (1991) como o sistema que envolve o manejo e a conservação dos recursos naturais, prevenindo a degradação do solo e da água, combinando tecnologias e atividades que integrem princípios socioeconômicos com preocupação ambiental, enquanto propiciam suporte necessário para a satisfação continuada das necessidades humanas para as gerações presente e futuras (ARCOVERDE, 2013).

Boff (2012), no mesmo sentido, define-a como o conjunto dos processos e ações que se destinam a manter a vitalidade e a integridade da Terra, a preservação de seus ecossistemas

com todos os elementos físicos, químicos e biológicos, que possibilitam a existência e a manutenção da vida, garantindo o atendimento das necessidades da geração atual e das futuras, e a realização das potencialidades humanas em suas várias expressões.

Os conceitos de sustentabilidade evidenciam a importância de se evitar a todo custo a degradação do solo, enquanto base para a vida. Neste sentido, os diferentes usos da terra e manejos do solo empregados pela agricultura assumem papel decisivo. Enquanto a natureza tende à máxima complexidade, a agricultura convencional tem tendido sempre à máxima simplificação dos agroecossistemas, sobretudo em função das monoculturas, fato que por si só já constitui uma ameaça à sustentabilidade. Isto acaba resultando em sistemas artificializados, que exigem constante intervenção humana. Na maioria dos casos, esta se dá na forma de insumos agroquímicos que, embora possam elevar a produtividade no curto prazo, acarretam graves custos ambientais e sociais indesejáveis (ALTIERI, 2012).

4.2.1 A sustentabilidade e o solo

4.2.1.1 Dimensionando o problema

As áreas sob cultivo ao redor do mundo passaram de aproximadamente 265 milhões de hectares no ano de 1700, para a impressionante área de cerca de 1,5 bilhão de hectares na atualidade (sobretudo às custas de florestas), o que corresponde a algo entre 25 e 30% da superfície da Terra (ALTIERI, 2012).

Mais terras foram convertidas para a agricultura no planeta desde 1945 do que em todo o transcorrer dos séculos XVIII e XIX somados e, hoje, aproximadamente um quarto (24%) da superfície terrestre do planeta encontra-se sob sistemas de cultivo agrícola. Neste mesmo período, a população humana cresceu exponencialmente, tendo transformado diversos ecossistemas, como em nenhuma outra época da história. Isto fez crescer, também de forma exponencial, a demanda por alimentos, água, fibras, energia, etc. (CERRI et al., 2007).

Em relação às emissões de gases do efeito estufa (GEE), segundo o painel internacional sobre mudanças climáticas – IPCC (2001), a queima de combustíveis fósseis e a produção de cimento são as principais fontes, responsáveis por aproximadamente 66% do total de emissões, enquanto a agricultura é responsável por 20%. As mudanças no uso da terra são responsáveis por 14%, completando o total de emissões antropogênicas. No Brasil, a proporção na emissão é diferente do padrão global: a queima de combustíveis fósseis é menos importante, enquanto mudanças no uso da terra e agricultura respondem por mais de dois

terços do total de emissões. Se os gases provenientes do desmatamento forem computados, o Brasil passa da 17ª para a 5ª posição no ranking dos países com maiores taxas de emissão. Na verdade, as emissões nas regiões tropicais do globo, como um todo, são devidas principalmente ao desmatamento e à agricultura, enquanto que nas regiões temperadas, onde encontram-se os países mais industrializados, os GEE provêm sobretudo da queima de combustíveis fósseis nos setores industrial e de transportes (CERRI et al., 2007). O fato de a agricultura atual ser movida basicamente por insumos petroquímicos, potencializa seu papel como emissora de GEE.

Lahmar et al. (2004) chama a atenção para a necessidade premente de uma abordagem sustentável no uso do solo, afirmando que “salvar nossos solos significa proteger nossas sociedades”. Os autores conclamam a sociedade a atentar para a importância central que a conservação dos solos tem em um mundo que se queira realmente sustentável. Esta publicação conta com a colaboração de cientistas de 21 países das Américas (entre eles, o Brasil), Europa, Ásia e África. Em síntese, conclui que o solo é um sistema fundamental para a vida, mas, apesar disso, está sendo ameaçado em todo o planeta; e, o que é mais grave, as sociedades humanas ignoram essa grave ameaça. Também apresenta proposições de cunho técnico e social/educacional como caminhos para reverter essa situação.

Em termos agronômicos, mais especificamente, os sistemas de manejo do solo são classificados pelo grau de conservação do solo que oferecem. Assim, temos desde manejos denominados não-conservacionistas, como aqueles que utilizam o arado e a grade para revolver o solo, cuja superfície resulta fragmentada e diretamente exposta à ação erosiva da chuva. Isto favorece a desagregação do solo pelo impacto das gotas de chuva e o arraste superficial dos fragmentos, que são transportados pela enxurrada (AMARAL et al., 2008). Além disso, o uso do arado e da grade causa a incorporação de quase todos os resíduos vegetais ao solo, praticamente eliminando sua cobertura por estes materiais e deixando sua superfície vulnerável ao selamento superficial, o que reduz a taxa de infiltração de água no solo (AMARAL et al., 2008). Além dos evidentes danos agronômicos, tal sistema de manejo do solo causa graves problemas ambientais, pois impacta negativamente o funcionamento do ciclo hidrológico, ao prejudicar a infiltração da água que iria repor os mananciais subterrâneos e, ao invés disso, escorre superficialmente, arrastando consigo parte da camada mais fértil do solo.

Por outro lado, são denominados sistemas conservacionistas de manejo aqueles que se caracterizam por mobilizar o solo o mínimo possível. Nesta classe temos o cultivo mínimo ou preparo reduzido, onde normalmente se faz uso do escarificador, seguido ou não de grade,

resultando em média a alta rugosidade superficial e em relativamente alta quantidade de resíduos culturais na superfície do solo (AMARAL, 2008). No extremo dos sistemas de manejo de caráter conservacionista encontra-se aquele onde é utilizada a semeadura direta, onde as culturas são implantadas sem o preparo prévio do solo, resultando na menor mobilização entre todos os sistemas existentes e, conseqüentemente, na maior quantidade de resíduos culturais deixada na superfície do solo. Assim, a semeadura direta constitui a técnica mais eficaz para reduzir a perda de solo por erosão hídrica pluvial, devido à alta resistência a este fenômeno que proporciona ao solo (AMARAL, 2008). Além de favorecer a qualidade do solo em diversos atributos, como teor de MOS, pela menor taxa de decomposição, a semeadura direta normalmente proporciona ao solo maior continuidade de poros (LINDSTROM et al., 1998) o que favorece a infiltração de água no solo.

4.2.1.2 Solo: uma visão sistêmica

A preocupação com o bom desempenho do solo para atender as necessidades humanas é tão antiga quanto a própria agricultura. Hoje, contudo, as preocupações com os graves níveis de degradação do solo e a busca por práticas agrícolas mais conservacionistas e sustentáveis têm evidenciado a necessidade de se conservar e incrementar a qualidade do solo. Neste sentido, o estudo de abordagens sistêmicas para incremento da qualidade do solo vem sendo adotado. Estas abordagens estão baseadas nos conceitos da Teoria dos Sistemas. Um sistema pode ser entendido como um grupo de componentes que interagem entre si, trabalhando juntos para um propósito comum, sendo capazes de reagir em conjunto a estímulos externos, dentro de determinado limite espaço-temporal. Este limite não é pré-determinado, mas aparece de modo a satisfazer ou dar resposta às questões levantadas pela pesquisa ou pelo próprio agricultor, num dado momento e em local específico. Assim, um sistema poderia ser o solo rizosférico, uma parcela, uma fazenda ou uma região. Os sistemas podem ser fechados ou abertos. Nos primeiros não há trocas de matéria, energia ou informações com os outros sistemas adjacentes; já nos últimos (sistemas abertos), estas trocas são constantes. O solo é um exemplo típico de sistema aberto. Exemplos muito claros pode ser o ciclo do carbono ou do nitrogênio, que são regulados pela biota do solo. O ciclo hidrológico também é regulado pelo solo. O fato de o solo ser um sistema aberto aumenta exponencialmente a importância da manutenção e melhoria da sua qualidade, pelo “efeito cascata” que seu bom ou mau funcionamento podem desencadear na natureza (SCHJONNING et al., 2004).

4.2.1.3 Seguindo os padrões de funcionamento da natureza

4.2.1.3.1 Permacultura

A natureza é o mais antigo e bem sucedido laboratório no desenvolvimento de (eco)sistemas equilibrados e sustentáveis. A Permacultura, desenvolvida inicialmente na Austrália e hoje presente em muitos países, traz experiências e reflexões valiosas quanto às tecnologias a serem utilizadas na agricultura (e em outras áreas) visando à sustentabilidade, a partir do estudo profundo dos padrões de funcionamento dos ecossistemas naturais, para aplicação nos agroecossistemas. Segundo Holmgren (2013), um de seus fundadores, a Permacultura nasceu de um estudo sobre as culturas humanas que conseguiram permanecer por longo tempo sem destruir seu meio, em diversos lugares e períodos da História da humanidade, o que revelou que a harmonia com a Natureza depende de uma visão filosófica, na qual o convívio entre as pessoas e dessas com o ambiente é o maior valor. Esse paradigma se traduz em sistemas nos quais o consumo se ajusta à capacidade de suporte renovável (oposto ao atual paradigma econômico, onde o consumo é estimulado à revelia da capacidade de renovação dos sistemas naturais).

Na agricultura, trabalha-se com paisagens conscientemente planejadas, que imitam os padrões e as relações encontrados na Natureza, enquanto produzem uma abundância de alimentos, fibras e energia. É uma visão que contrasta, portanto, com a dominante em nossos dias, orientada ao crescimento industrial e acumulação de riqueza nos setores que possuem maior poder econômico (e militar), e onde domina uma lógica econômica distorcida, que ignora a finitude dos recursos renováveis, desconsidera as externalidades negativas (impactos ambientais e sociais), não contabiliza o subsídio energético dos combustíveis fósseis à economia industrial, ocultando o fato destes encontrarem-se em seu pico de extração (estima-se que, somente nos EUA, já se tenha ultrapassado a metade das reservas existentes de petróleo), assim como seu impacto nas mudanças climáticas (HOLMGREN, 2013).

4.2.1.3.2 Sintropia

A Agricultura Sintrópica se apresenta como uma forma de fazer agricultura que busca harmonizar as atividades humanas com os processos naturais da vida, existentes em cada lugar que atuamos. Para isto, propõe um aprofundamento na compreensão dos processos que regem a vida na Terra. O pensamento dominante hoje na civilização ocidental baseia-se nos princípios da Física newtoniana, que tentam explicar de forma simplificada os processos físicos do movimento, da gravidade, da combustão, etc., e que foram bastante úteis para o modelo de sociedade (e de agricultura) vigente até então. Porém, esta lógica acabou por nos fazer desconsiderar tudo aquilo que não se encaixe nela, com consequente agravamento dos problemas ambientais e socioeconômicos. Este pensamento tecnomorfo não tem como contemplar a compreensão sistêmica dos processos vitais. Ao contrário do que se tem proposto a partir da Física clássica, a vida não se dá dentro da lógica newtoniana, do complexo para o simples. Bem pelo contrário, os princípios que norteiam a vida levam sempre do simples para o complexo. Cada uma das espécies vivas existentes – entre elas a humana – é resultado deste processo e tem uma função dentro de um conceito maior. Cada ecossistema em si constitui um todo evolutivo e, ao mesmo tempo, compõe o todo maior do planeta (GOTSH, 1997).

A vida na Terra é uma só e esta pode ser considerada um macroorganismo, cujo metabolismo gira num balanço energético positivo, indo sempre do simples para o complexo, em sintropia. Ou seja, o princípio fundamental da vida neste planeta é a complexificação de resíduos entrópicos, primordialmente dos raios solares. Em cada lugar, a vida se organiza para otimizar a complexificação de resíduos entrópicos. Muito do que se observa nos movimentos geofísicos – como a rotação, os ventos, as correntes marinhas, o movimento das placas tectônicas e o vulcanismo – nos indica que o próprio planeta, ativamente, otimiza os processos da vida. Isto nos leva ao encontro da visão que diversos povos ancestrais, como os Celtas e outros, tinham sobre a vida na Terra, assim como à Hipótese Gaya, do cientista inglês James Lovelock (GOTSCH, 1997).

4.2.1.3.3 Biomimética

Embora a observação e imitação de mecanismos e padrões encontrados na natureza seja tão antiga quanto a própria humanidade, a formulação da teoria biomimética e a criação do termo ocorreu em 1950, a partir do trabalho do pesquisador norte-americano Otton H.

Schimitt. Já a palavra *biônica* foi criada oito anos mais tarde, pelo também norte-americano Jack Steele. Desde então, ambas são usadas como sinônimos, embora ultimamente o termo *biomimética* seja mais utilizado pelas áreas de pesquisa interessadas no estudo da natureza como fonte de consulta para soluções técnicas. A Biomimética é hoje uma ciência essencialmente interdisciplinar, associando conhecimentos da biologia ao das engenharias. Quando se procura entender como os organismos resolveram suas questões ao longo de milhões de anos, desperta-se para princípios básicos de sustentabilidade intrínsecos à natureza, que podem ser transferidos para a sociedade como um todo (BARBOSA, 2008).

A Biomimética vem sendo utilizada na pesquisa agrônômica em diferentes áreas, como no desenvolvimento de novos implementos agrícolas (CHIRENDE; LI, 2009), buscando soluções inspiradas na natureza para um manejo de solo mais adequado à manutenção da sua qualidade e a produção de alimentos sustentável.

4.2.1.4 Agrotóxicos

A problemática dos agrotóxicos também vem à tona, necessariamente, quando o assunto é sustentabilidade dos usos da terra adotados na produção agropecuária. Eugene P. Odum afirma que torna-se evidente, a cada ano que passa, que o uso corrente e excessivo de produtos químicos não apenas contribui intensamente para a poluição dispersa, mas é, a longo prazo, insustentável (GLIESSMAN, 2009).

Uma das pioneiras a alertar sobre os graves problemas gerados pelo uso de agrotóxicos foi Rachel Carson (2010), que em 1962 lançava seu livro “Primavera Silenciosa”, que viria a se tornar um ícone do paradigma ecológico e da sustentabilidade. Para Carson, a cultura que dava suporte à ciência do período pós-guerra, que se arrogava o domínio sobre a Natureza era a raiz filosófica do problema. *Intoxicada com a sensação de seu poder*, escreveu ela, *a humanidade parece estar se envolvendo cada vez mais em experiências de destruição de si própria e de seu mundo*. A indústria de agroquímicos surgiu como herança da Segunda Grande Guerra e criou, segundo a autora, um quadro generalizado inédito: pela primeira vez na História, todo ser humano passou a estar sujeito ao contato com substâncias químicas perigosas, desde o instante em que é concebido, até sua morte. Os pesticidas sintéticos foram tão amplamente distribuídos pelo mundo, que se encontram praticamente em todos os lugares: nos rios, nas águas subterrâneas, no corpo de peixes, pássaros, répteis e animais domésticos, nos lugares mais remotos do planeta e – é claro – nos próprios corpos dos seres humanos. Especificamente em relação ao solo, conforme suas investigações à época, a autora afirma que

já era possível observar resíduos dos pesticidas no solo, mais de doze anos depois de terem sido usados (CARSON, 2010).

Conforme Vezzani e Mielniczuk (2009), os números alarmantes das áreas de solos degradados física e quimicamente – contaminadas por agroquímicos – e as perspectivas catastróficas daí decorrentes, fizeram com que Lal e Pierce (1991) instigassem a comunidade científica a buscar sistemas de manejo inovadores, capazes de balancear os requerimentos do solo e das culturas. *A ênfase não está em maximizar a produção, mas sim em otimizar o uso do recurso solo e sustentar a produtividade por um longo período*, alertaram eles à época, o que se traduz em preocupação explícita com a sustentabilidade.

4.2.1.5 Agroecologia: solo como base da sustentabilidade dos agroecossistemas

A agroecologia também entende o solo como a base da sustentabilidade nos agroecossistemas e dos processos produtivos em todo o planeta. Trata-se de um componente importante e bem organizado da natureza, ajustado a múltiplas funções em um equilíbrio dinâmico. Sua composição é variada e depende de fatores e processos de formação, bem como do manejo e utilização a que é submetido (ANDRADE, 2001). Nas áreas de uso intenso do solo, ao contrário dos sistemas naturais, a intervenção do homem ocasiona maior exportação de produtos primários que são necessários para a manutenção do sistema, assim como novos aportes de massa e energia na forma de insumos. Como a QS envolve a sua avaliação correlacionando-a com o uso específico do solo, tornou-se imprescindível o seu monitoramento, para que modificações no manejo possam ser sugeridas com o objetivo de reduzir sua degradação (CANELLAS et al., 2005).

Conforme Gliessman (2009), a Agroecologia entende o solo como um componente complexo, vivo, dinâmico e em transformação, sendo essencial dentro de qualquer ecossistema ou agroecossistema. Está sujeito a alterações, daí a importância dos usos a serem adotados, já que podem conduzi-lo à degradação ou à manutenção e melhoria de sua qualidade. Boa parte da agricultura atual vê o solo meramente como um substrato onde, com o uso de tecnologias mecânicas e químicas se pode modificá-lo rapidamente, extraindo dele safras expressivas, sem preocupação com sua sustentabilidade. Em oposição a essa abordagem de curto prazo, a premissa agroecológica é de que o entendimento metódico do ecossistema solo é parte fundamental do desenho e do manejo de agroecossistemas sustentáveis, no qual a fertilidade é mantida no longo prazo, com dependência cada vez menor

(o objetivo é chegar à dependência zero) de insumos externos à propriedade ou grupo de propriedades associadas (GLIESSMAN, 2009).

As opções tecnológicas oriundas da Agroecologia não remetem a uma agricultura baseada no binômio tacape-borduna, mas sim à utilização de instrumentos tecnológicos distintos, necessários para a superação dos graves problemas do sistema produtivo na atualidade, sejam eles mecânicos, biológicos ou eletrônicos. As técnicas espectroscópicas e as modernas formas de biologia molecular podem ajudar a elucidar mecanismos de interação da matéria orgânica com os genes das plantas. Porém, o uso de tecnologias mais sofisticadas não irá fornecer, por si só, a solução para o modo de produção atual. Para isto, é necessária a quebra de paradigmas reducionistas profundamente arraigados no meio científico, para que tais tecnologias especializadas possam fazer parte de uma abordagem sistêmica da natureza e da agricultura (CANELLAS et al., 2005).

A sustentabilidade no uso do solo está, de fato, intimamente ligada à manutenção ou incremento da sua qualidade. Ou seja, manter a fertilidade, a capacidade produtiva e os serviços ambientais proporcionados pelo solo por longo tempo requer uma profunda compreensão e preservação da sua qualidade (SCHJONNING et al., 2004). Por esta razão, cabe aprofundar um pouco mais o entendimento de QS a partir do enfoque de diferentes autores.

4.3 QUALIDADE DO SOLO (QS)

O conceito de qualidade do solo leva em conta seus atributos físicos, químicos e biológicos, assim como suas interações. Também leva em conta o bom funcionamento dos incontáveis processos que ocorrem no solo. Por tudo isso, está intimamente ligado aos manejos do solo adotados. Esta expressão foi usada inicialmente na década de 1970 e ganhou força nos anos noventa. Desde então, vem recebendo contribuições para torná-la mais completa e também mais aplicável (SCHJONNING et al., 2004).

Vezzani e Mielniczuk (2009), em uma revisão da literatura, analisam o estado da arte em qualidade do solo (QS) e fazem uma reflexão sobre as propostas de avaliação existentes. Segundo eles, em 1994, Doran e Parkin propuseram um conceito de QS, que foi reformulado por Doran em 1997, sendo ainda utilizado nos dias atuais, o qual afirma que: *qualidade do solo é a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou melhorar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens*. Em

outras palavras, significa a capacidade de o solo exercer suas funções na natureza, que são: proporcionar o crescimento das plantas; regular e compartimentar o fluxo de água no ambiente; estocar e promover a ciclagem de elementos na biosfera; servir como tampão ambiental na formação, atenuação e degradação de compostos prejudiciais ao ambiente. Portanto, a QS está relacionada com as funções que capacitam o solo a aceitar, estocar e reciclar água, nutrientes e energia. Neste contexto, QS é a integração das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, que o habilita a exercer suas funções na plenitude.

Os aspectos funcionais são referidos também como determinantes da *saúde do solo*, conceito paralelo ao de qualidade do solo (SCHJONNING et al., 2004). Dentro desta abordagem, destacam-se as funções críticas que o solo desempenha em relação à biosfera. A saúde do solo poderia ser definida, então, como sendo a *capacidade do solo de funcionar* ou *como determinado solo está funcionando* em relação a um objetivo ou uso específico. Estas definições apresentam paralelos com outras como *aptidão para usos específicos* ou *gama de possíveis usos*, que também têm sido usados. Assim, o conceito de saúde do solo remete à estreita relação existente entre funções do solo e QS, destacando os serviços ambientais e agronômicos prestados pelo solo, para melhor compreensão dos conceitos de sustentabilidade e resiliência do solo (SCHJONNING, 2004).

Do ponto de vista da sociedade humana, o solo é responsável pela prestação de inúmeros serviços ambientais ou ecossistêmicos, que vêm merecendo o interesse crescente da pesquisa internacional. Griffiths et al. (2016) destacam que a qualidade do solo é de fundamental importância para a vida no planeta e para a humanidade, em particular, já que as sociedades são altamente dependentes de solos saudáveis, que lhe proporcionam bens e serviços ecossistêmicos, incluindo provisão de alimento, fibras, madeira, energia; também da regulação do clima, de doenças, desastres naturais, armazenamento e tratamento de resíduos, ciclagem de nutrientes, mitigação do efeito estufa, além de atividades recreativas e culturais.

Lier (2010) apresenta a definição de qualidade do solo estabelecida no glossário da Sociedade Americana de Ciência do Solo (SSSA): *a qualidade do solo é um atributo intrínseco deste, o qual pode ser inferido a partir de suas características e propriedades ou observações indiretas*. Segundo o autor, um número mínimo de atributos do solo (indicadores) deve ser medido para quantificar a qualidade do solo.

Quando o solo encontra-se com vegetação nativa, normalmente apresenta melhor estado de agregação e teor de MO estável. Sua utilização para fins agrícolas, com a introdução de práticas de cultivo, altera as propriedades físicas, químicas e biológicas deste solo,

principalmente o teor de MO, a atividade e população microbiana e a estabilidade estrutural (CAMPOS et al., 1995).

Das abordagens sobre QS constantes na literatura, percebe-se que existem três linhas de pensamento: busca por atributos do solo, como um índice (IQS); matéria orgânica do solo como IQS; e QS como resultado de processos no sistema solo-planta-microrganismos. Conclui-se que o grande avanço nesta área é a abordagem sistêmica do solo, razão pela qual é mais importante identificar como obter QS, do que identificar atributos para medi-la. Sob essa análise, o sistema solo só atinge qualidade quando são integradas as plantas e a biota edáfica, e a avaliação de seu funcionamento – que é a própria QS – deve ter como base os princípios da termodinâmica do não-equilíbrio, ciência que rege os sistemas abertos, como é o caso do solo. Os sistemas agrícolas que favorecem a QS são aqueles que cultivam plantas intensamente, de preferência de espécies diferentes, sem o revolvimento do solo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

4.3.1 Qualidade física do solo

A qualidade física do solo é de vital importância para o funcionamento adequado de todos os processos que ali têm lugar, incluindo o bom desenvolvimento das plantas. Conforme Gomes e Filizola (2006), além da estrutura e aeração, a qualidade física está intimamente associada aos processos hidrológicos, tais como taxa de infiltração, escoamento superficial, drenagem e erosão. Este postulado reforça a importância de medir a taxa de infiltração (entre outros atributos) para verificar a qualidade física do solo. Ainda segundo os mesmos autores, os principais indicadores físicos de qualidade do solo, sob o ponto de vista agrônomo, são: textura, estrutura, resistência à penetração, profundidade de enraizamento, capacidade de armazenamento de água disponível, percolação ou transmissão de água e sistema de cultivo. Este último indicador (sistema de cultivo) constitui uma ação antrópica, que tem grande influência sobre todos os demais, exceto a textura. A decisão sobre que manejo utilizar constitui fator-chave para possibilitar ao solo expressar sua resiliência.

4.3.1.1 O manejo adotado e a qualidade física do solo

A influência do manejo adotado sobre a qualidade do solo é reforçada por diversos autores. Amaral et al. (2008) afirmam que o preparo do solo – com ou sem revolvimento – constitui uma das operações agrícolas mais importantes no processo de produção vegetal. As

alterações mais visíveis na superfície do solo, daí decorrentes, são a rugosidade e a cobertura por resíduo cultural, as quais variam com o sistema de manejo do solo adotado. Por essa razão diz-se que o manejo do solo é o fator que mais influencia a erosão hídrica pluvial do solo. Conforme Spera et al. (2009), a pulverização da camada arável, pelo uso sistemático de revolvimento do solo, gera aumento da resistência à penetração e da densidade do solo, acompanhados de redução na macroporosidade e na taxa de infiltração de água. Albuquerque et al. (2016) afirmam que a densidade do solo aumenta e a porosidade total diminui se ocorrer trânsito de máquinas e/ou pisoteio animal quando o solo encontra-se com consistência plástica. Este processo reduz principalmente a macroporosidade e altera a distribuição do tamanho de poros e a retenção de água no solo, elevando a resistência à penetração. A compactação excessiva pode limitar a absorção de nutrientes, absorção e redistribuição de água, trocas gasosas e desenvolvimento do sistema radicular, resultando em decréscimo da produção e aumento da erosão (ALBUQUERQUE et al., 2016).

A adoção de indicadores da qualidade física também é recomendada por Lier et al. (2010), afirmando que, até recentemente, a avaliação da qualidade física do solo era um assunto tratado de maneira genérica e qualitativa. Porém, nos últimos anos, o reconhecimento da sua importância, em termos agronômicos e ambientais, proporcionou o avanço das pesquisas, culminando no desenvolvimento de indicadores quantitativos da qualidade física do solo.

4.3.1.2 Importância do não revolvimento do solo e da presença de resíduos culturais na superfície

O solo é a base da sustentabilidade dos ecossistemas terrestres e sua conservação deve ser uma premissa nas tecnologias adotadas nas áreas agrícolas. Porém, hoje, bilhões de toneladas de solo vão parar em rios, lagos e oceanos a cada ano, no mundo, levando à devastação de extensas áreas (PRIMACK; RODRIGUES, 2001). Sistemas de preparo convencional, com intenso revolvimento do solo, levam à sua degradação e perda da qualidade estrutural, levando à ocorrência de altas taxas de erosão hídrica, com graves consequências de perdas de solo (BERTOL et al., 2000b). A semeadura direta (SD), por reduzir as perdas por erosão hídrica (BERTOL et al., 1997), constitui uma importante alternativa de manejo, capaz de preservar as propriedades físicas e a capacidade produtiva do solo (SILVA; MIELNICZUK, 1997), proporcionando maior sustentabilidade ao sistema produtivo.

Em solos agrícolas, o manejo adotado influencia os estoques de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT). Em solos com intenso revolvimento, além das perdas por erosão, ocorre aumento da atividade microbiana pela maior exposição dos resíduos aos microrganismos e suas enzimas, levando à maior mineralização da MOS (SOUZA et al., 2009).

O revolvimento do solo, por vezes considerado necessário em razão da compactação, pode eliminar as plantas espontâneas, rearranjando as partículas do solo, resultando em uma maior aeração e infiltração de água logo após o preparo e nos estádios iniciais de desenvolvimento das culturas. No entanto, reduz a estabilidade de agregados – principalmente dos macroagregados – aumentando a suscetibilidade à erosão hídrica. Por sua vez, sistemas de preparo que evitam o revolvimento do solo e acumulam resíduos culturais na superfície, preservam sua estrutura e retêm mais água na camada superficial, principalmente pelo aumento da MO e da microporosidade. Processos como a infiltração e a evaporação de água do solo também são alterados (ALBUQUERQUE et al., 2005).

A semeadura direta é considerada, na classificação dos sistemas de manejo do solo, a técnica mais conservacionista utilizada nos manejos agrícolas, superando o cultivo mínimo e contrapondo-se ao preparo convencional, considerado não-conservacionista (AMARAL et al., 2008). Entretanto, seus benefícios serão mais efetivos se houver presença constante de resíduos vegetais na superfície, já que estes dissipam a energia cinética das gotas de chuva, reduzindo em muito a desagregação do solo e a consequente erosão (RAMOS, 2015).

Em Latossolo Vermelho distrófico, Alvarenga et al. (1986) observaram que a estabilidade de agregados em ambiente de Cerrado foi reduzida pelo preparo convencional, enquanto a semeadura direta (SD) recuperou parte da estabilidade perdida pelo preparo intensivo, possivelmente pelo maior teor de carbono orgânico. Já o Latossolo Bruno, segundo Reis e Dick (2012 apud JACQUES, 2017), apresenta maior capacidade de retenção de C na fração argila em SD do que no preparo convencional.

Em relação à erosão hídrica, Bertol et al. (2010) afirmam que o cultivo do solo com mobilização mecânica e a queima de resíduos vegetais aumentam a quantidade de sedimentos desagregados e disponíveis para o transporte pela enxurrada. Estes sistemas de manejo também modificam a distribuição de tamanhos dos sedimentos presentes na enxurrada; normalmente, eles aumentam a quantidade de sedimentos grandes em relação aos pequenos. O cultivo sem mobilização do solo e a manutenção dos resíduos vegetais na superfície diminuem a quantidade total de sedimentos, aumentando a proporção de sedimento pequenos.

Sequinatto (2010) destaca que, há alguns anos, tornou-se preocupante o fato de que a utilização do solo nas atividades agrícolas, com revolvimento excessivo em intensivas operações de preparo, carregava grandes quantidades de solo e fertilizantes para fora das áreas de lavoura, via erosão hídrica, empobrecendo não somente o solo, mas o ecossistema. Segundo a autora, a adoção da semeadura direta (SD) nas áreas de cultivo de grãos proporcionou redução nestas perdas. O pouco conhecimento que havia acerca dos processos físicos, químicos e biológicos sob SD, num primeiro momento, levou a pesquisa a investigar mais a fundo estas interações neste sistema de uso do solo, com vistas a uma melhor conservação de todos os recursos do ecossistema. Como resultado, chegou-se à conclusão de que a SD melhora consideravelmente a estrutura de solo degradada, com o passar do tempo (ou seja, permite ao solo manifestar sua resiliência). Entretanto, mesmo neste sistema, pode ocorrer a compactação do solo, pelo tráfego intenso de máquinas ou pisoteio animal excessivo, em sistemas de integração com a pecuária. Estes problemas podem ser agravados, quando ocorrem em condições inadequadas de conteúdo de água no solo. A relevância destas observações deve-se ao fato de que a compactação é o processo de redução do volume do solo, com implicações sobre a movimentação da água e do ar em seu interior, e, consequentemente, sobre o desenvolvimento das plantas e o rendimento das culturas.

Por outro lado, a adoção de práticas de manejo adequadas no sistema de SD podem controlar a compactação e melhorar a estrutura física do solo. Uma das principais práticas agrícolas recomendadas é a utilização de plantas de cobertura de inverno, que evitam a exposição do solo à ação direta do sol, vento e chuva, sendo que suas raízes melhoram a estrutura do solo – atuando principalmente sobre a agregação – além de proporcionarem a adição de fitomassa (raízes e parte aérea) ao sistema, incrementando os teores de MOS. Os resíduos vegetais atuam ainda como proteção física contra a erosão hídrica, por atenuarem ou evitarem o impacto direto da gota de chuva e o arraste superficial das partículas de solo. Atenuam também as cargas aplicadas ao solo pelo rodado das máquinas agrícolas. Também os parâmetros físico-hídricos, a retenção de água no solo, o índice S e a permeabilidade do solo ao ar, mostraram-se sensíveis às alterações na estrutura do solo, impostas pelos diferentes manejos, sendo, portanto, indicativos da qualidade física do solo (SEQUINATTO, 2010).

As principais alterações edáficas normalmente decorrentes da introdução da SD, associadas à baixa mobilização do solo, adição de adubos e corretivos na camada superficial e a manutenção dos resíduos culturais na superfície, promovem o acúmulo de CO e nutrientes na camada superficial, redução das perdas de solo e de água por escoamento superficial, maior atividade biológica, estabilidade dos agregados e infiltração de água no solo, além da

menor perda de água por evaporação. Estes fatores, somados à menor temperatura e amplitude térmica, aumentam a umidade na camada superficial (ALBUQUERQUE et al., 2005).

4.3.1.3 Teor de carbono e qualidade física do solo

A MOS, possuindo em média 58% de C, é indispensável para a manutenção da vida no solo. E não há dúvida que a bioestrutura e toda produtividade estão baseadas na presença de MOS, em decomposição ou humificada (PRIMAVESI, 2002).

Durante a decomposição dos resíduos vegetais, a estrutura do solo é beneficiada. O que possui força agregante, nesse caso, não é o húmus, mas o produto intermediário da decomposição bacteriana, os ácidos poliurônicos, de aspecto incolor a esbranquiçado, incapazes de dar cor ao solo, mas capazes de floculá-lo (PRIMAVESI, 2002).

Os teores de COT variam conforme o tamanho das partículas constituintes (FANG et al., 2015). No ambiente do solo, o carbono orgânico forma associações organominerais com partículas menores, como silte e, sobretudo, argila. Isso demonstra que há estreita relação da textura do solo com seu teor de COT.

As associações organominerais que ocorrem nos agregados do solo têm relação com o tempo de permanência do carbono constituinte da MOS. Em função da localização das ligações entre a matéria orgânica e os minerais do solo, esta poderá estar mais ou menos protegida. A matéria orgânica que se encontra dentro dos agregados do solo será mineralizada mais lentamente do que aquela que estiver do lado de fora (FANG et al., 2015). Assim, a proteção física proporcionada pelos agregados é também um fator chave para a estabilização da MOS (SIX; PAUSTIAN, 2014). A sua permanência no solo por mais ou menos tempo determinará sua maior ou menor recalcitrância.

Também o tamanho dos agregados do solo interfere na proteção e estabilização da MOS. Drury et al. (2004) demonstraram em laboratório que a distribuição de tamanhos dos agregados teve substanciais impactos na produção de CO², que decresceu com o aumento no tamanho dos agregados.

4.3.1.4 Infiltração de água no solo

A infiltração pode ser definida como a passagem da água da superfície para o interior do solo, percolando através do perfil. Pode ser expressa como taxa ou como capacidade: taxa de infiltração leva em conta a quantidade de água que passa por uma determinada área de

superfície do solo em um determinado tempo (quantidade por unidade de tempo), enquanto que capacidade de infiltração refere-se ao valor final constante da taxa de entrada de água no solo (BERTOL et al., 2015).

Consiste em um aspecto funcional do solo e, assim, assume importância central na qualidade do solo, uma vez que traduz a eficácia final do somatório e da sinergia de inúmeros atributos do solo. De fato, é influenciada pelo tipo de solo, sistema de manejo, tipo de cultura, rugosidade da superfície e sua cobertura por resíduos culturais, além do conteúdo de água do solo antes da chuva (BERTOL et al., 2015). O caráter funcional da infiltração coloca-a em destaque entre os atributos pesquisados neste estudo, já que o próprio conceito de resiliência adotado aponta para a recuperação das funções do solo (SEYBOLD et al., 1999). Também o conceito de qualidade do solo proposto por Doran e Parkin (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009) dá destaque ao aspecto funcional da QS, como visto anteriormente. Desse modo, a infiltração da água pode ser considerada a propriedade que melhor reflete as condições físicas do solo, sua qualidade e estabilidade estrutural (BERTOL, 2000a).

Além de permitir que a água da chuva chegue às raízes mais profundas das plantas, a infiltração possibilita nada menos que o correto funcionamento da fase continental do ciclo hidrológico, já que é infiltrando no solo e percolando até as camadas mais profundas que a água da chuva alcança o nível piezométrico e os mananciais subterrâneos, sustentando o abastecimento de nascentes, córregos e rios (LEINZ; AMARAL, 2003). A infiltração também desempenha o papel de minimizar ou evitar o escoamento de água na superfície do solo – com consequente erosão e perda de solo (WANG et al., 2015).

A importância da infiltração de água, portanto, não se restringe às questões agronômicas ou de produtividade das culturas. Assim como a própria qualidade do solo – como um todo – a infiltração tem papel preponderante no funcionamento dos ecossistemas terrestres. Possibilita que a água penetre no solo, alcançando as raízes das plantas, formando a solução do solo e, em maior profundidade, abastecendo os mananciais subterrâneos, promovendo a manutenção de nascentes. Desse modo, a infiltração eficaz é fundamental para evitar a erosão por escoamento superficial e o assoreamento de corpos d'água (GLIESMAN, 2009).

Franzuebbers (2002), estudando as relações entre infiltração de água, estrutura do solo e conteúdo de MOS, afirma que a matéria orgânica é um atributo chave da QS, e influencia tanto a agregação do solo, quanto a infiltração de água. Na profundidade de 0-12, a estratificação do conteúdo de COT de acordo com a profundidade mostrou que este foi preditivo da taxa de infiltração, tanto em estudo de curta duração, quanto naqueles de longa

duração. Em relação ao manejo de solo adotado, o autor afirma que o revolvimento do solo, embora seja utilizado visando o aumento da porosidade do solo, consiste em uma solução de curto-prazo, com consequências negativas sobre a estabilidade estrutural da superfície do solo, acumulação superficial de resíduos culturais e conteúdo de COT, que são características críticas no controle da infiltração de água e seu armazenamento no solo.

Também relacionando o manejo do solo com a taxa de infiltração, Ramos (2015) demonstrara que a presença de resíduos vegetais na superfície, além de outros benefícios, favorece o aumento da taxa de infiltração. Conforme Almeida et. al. (2018), o uso da terra, assim como a cobertura do solo influenciam fortemente a infiltração e têm papel importante na interceptação da gota de chuva. Aumentando a porcentagem de solo coberto pelo dossel de plantas e a quantidade de resíduos sobre a superfície (além da rugosidade superficial do solo e da evapotranspiração da cultura) aumenta, como consequência, a taxa de infiltração no início de um evento de chuva, reduzindo assim o escoamento superficial.

Wang et al. (2015) conseguiram estabelecer relações entre diferentes taxas de infiltração e a erodibilidade do solo em dois tratamentos: solo nu e solo cultivado. Por entenderem que a erodibilidade não é fácil de ser quantificada, os autores buscaram estabelecer essas relações, tornando-as uma ferramenta útil para este objetivo. Resta clara a importância da infiltração também no controle da erosão do solo.

As propriedades hidráulicas do solo têm impacto predominante sobre sua qualidade física porque controlam, direta ou indiretamente, o armazenamento de ar e de água, infiltração e drenagem, a lixiviação de nutrientes, a atividade microbiana, a geração de gases de efeito estufa, e o sequestro de carbono (REYNOLDS, 2017).

4.3.2 Qualidade química do solo

A qualidade química do solo – associada aos atributos físicos e biológicos – é fator determinante de sua fertilidade, uma vez que indica as condições de pH adequado ao bom funcionamento dos processos do solo e a disponibilidade dos nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas. Neste sentido, os indicadores químicos da qualidade do solo têm relevância nos estudos, tanto agronômicos quanto ambientais, estando normalmente agrupados em quatro classes: a) aqueles que indicam os processos do solo ou de comportamento, como pH e carbono orgânico; b) aqueles que indicam a capacidade do solo de resistir à troca de cátions, como por exemplo o tipo de argila (2:1; 1:1), CTC, CTA, óxidos de Fe, óxidos de Al; c) aqueles que indicam as necessidades nutricionais das plantas, como N,

P, K, Ca, Mg e micronutrientes; d) aqueles que indicam contaminação ou poluição do solo, como metais pesados, nitratos, fosfatos e agrotóxicos (xenobióticos) (GOMES; FIZOLA, 2006).

Todos os nutrientes existentes no solo se originaram de uma das seguintes fontes: dos minerais do solo, da matéria orgânica (MOS), da associação de espécies de plantas com microrganismos como *Rhizobium*, *Azospirillum*, etc., da atmosfera por meio de descargas elétricas, ou ainda de fertilizantes orgânicos ou minerais adicionados ao solo (ERNANI, 2016).

4.3.2.1 Qualidade química e teor de carbono orgânico total

Por que o carbono é especial? O que o distingue dos outros elementos? Respostas para estas perguntas podem ser obtidas com a análise da posição do C na tabela periódica. Como um elemento do grupo IVA, o carbono compartilha quatro elétrons de valência e forma quatro ligações covalentes fortes. Além do mais, os átomos de carbono podem se ligar uns aos outros, formando cadeias e anéis. O carbono sozinho é capaz de formar uma diversidade imensa de compostos, que pode ir do mais simples aos mais surpreendentes e complexos – do metano, com um único átomo de carbono, ao DNA, que pode conter alguns bilhões de átomos (VEGA, 2005).

Os compostos orgânicos presentes no solo costumam ser classificados em duas frações: húmica e não-húmica. A fração não-húmica é constituída pelos resíduos orgânicos adicionados ao solo mais recentemente, ou que ainda estão em fases iniciais de decomposição. Já a fração húmica corresponde àquela que já sofreu grandes transformações pela biota do solo. Na fração húmica, a concentração de carbono varia de 40 a 50% (Ernani, 2016).

Sendo o C o principal constituinte da MOS, destaca-se a importância das associações organominerais para a manutenção de teores adequados de CO no solo. As interações entre a fase mineral e a composição química da matéria orgânica têm sido reportadas como o principal mecanismo de estabilização da MOS em solos ácidos (TORN et al., 1997).

O teor de carbono orgânico total (COT) tem papel fundamental nas interações que ocorrem no solo. Como referido acima, está diretamente associado à matéria orgânica (MOS), que constitui um dos principais indicadores químicos de qualidade do solo, em virtude de ser altamente suscetível a alterações frente às diferentes práticas de manejo. Além disso, estabelece relações com as demais propriedades do solo, como a densidade, a porosidade, a estrutura e a retenção de água. Também exerce influência sobre a cor, a consistência, a

permeabilidade, aeração e temperatura e é importante para a capacidade de troca catiônica (CTC) e para o conteúdo de bases trocáveis no solo (ARCOVERDE, 2013).

A constante adição de resíduos orgânicos favorece o aumento no teor de MOS, que proporciona elevação das cargas elétricas negativas do solo, elevando a CTC e, assim, melhorando a fertilidade química do solo. A MOS possui maior densidade de cargas elétricas negativas do que os componentes minerais do solo. Isto se deve ao grande número de radicais presentes nestes compostos, principalmente carboxílicos e hidroxílicos. Esses radicais orgânicos possuem valores bastante variados para as constantes de dissociação (pK_a) e, por isso, geram cargas elétricas numa ampla faixa de pH. Em função destas propriedades a MOS, embora normalmente constitua menos de 5% do volume total do solo, responde por 70% (ou mais) da CTC dos solos de regiões tropicais e subtropicais (ERNANI, 2016).

O carbono orgânico total (COT) é um indicador da produtividade do solo e da estabilidade do ecossistema. Com o objetivo de maximizar o sequestro de carbono, os fatores que interferem no teor de COT do solo requerem mais pesquisas *in situ* e em laboratório (Fang et al., 2015). O consenso em relação à MOS como indicador da QS emana de dois fatos principais. Primeiro, o teor de matéria orgânica no solo é muito sensível em relação às práticas de manejo, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais onde, nos primeiros anos de cultivo, mais de 50% da MOS previamente acumulada pode ser perdida por diversos processos, entre eles a mineralização e a erosão (SANTOS et al., 2008). Segundo, a maioria dos atributos do solo e do ambiente relacionados às funções básicas do solo tem estreita relação com a MOS. Destacam-se a estabilidade de agregados e da estrutura do solo, infiltração e retenção de água, resistência à erosão, atividade biológica e, do ponto de vista químico, capacidade de troca de cátions (CTC), disponibilidade de nutrientes para as plantas, lixiviação de nutrientes, liberação de CO_2 e outros gases para a atmosfera (processos bioquímicos), com impacto no Efeito Estufa (SANTOS et al., 2008).

4.3.2.2 Qualidade química e pH

As reações que acontecem no solo costumam ser fortemente condicionadas pelo seu pH. O índice de concentração de íons H^+ no solo é usado para determinar se um solo é ácido ($pH < 7$), neutro ($pH = 7$) ou básico ($pH > 7$). O pH controla a solubilidade de nutrientes no solo, exercendo grande influência na absorção dos mesmos pela planta. Para a maioria das culturas agrícolas, o pH ideal do solo situa-se entre 6,0 e 6,5. Porém, em alguns casos, esta faixa pode ser estendida para entre 5,5 e 6,8 (GOMES; FIZOLA, 2006).

De acordo com Ernani (2016), as cargas elétricas existentes no solo constituem locais ativos, onde ocorre a adsorção eletrostática de íons ou moléculas, constituindo, assim, sítios de adsorção. No tocante à origem, as cargas elétricas do solo são classificadas em permanentes e dependentes de pH (ou variáveis). Estas últimas são assim denominadas porque seu número varia com a alteração do pH. Esse tipo de carga se encontra nas superfícies quebradas dos minerais de argila e principalmente nos óxidos, nos hidróxidos e na matéria orgânica. É o tipo de carga predominante em solos de regiões tropicais e subtropicais, normalmente muito intemperizados, como os da nossa região (sul do Brasil). Por esta razão, a adição de calcário é uma prática comum para correção dos solos ácidos aí encontrados. A elevação do pH do solo aumenta as cargas elétricas negativas (elevando a CTC), devido à dissociação de íons H^+ dos grupos funcionais existentes nas superfícies externas dos componentes sólidos e devido também à desobstrução de cargas ocupadas por algumas formas não trocáveis de alumínio (ERNANI, 2016).

4.3.2.3 O Al^{3+} e a qualidade química do solo

O alumínio (Al) é um metal que ocorre em vários tipos de solos, como alguns comuns no sul do Brasil. A toxicidade do Al é considerada um dos maiores problemas nos solos ácidos, por representar um fator limitante de crescimento para as plantas. Em solos bastante intemperizados, onde a maior parte das bases foi lixiviada, restam minerais ricos em sílica e/ou alumínio. O problema se dá quando o Al se apresenta na forma trocável, quando será absorvido pelas raízes das plantas, causando intoxicação (TROEH; THOMPSON, 2007).

Conforme Ernani (2016), em muitos solos com pH menor do que 5,0, o Al^{3+} é o cátion que predomina na CTC. Este é o caso dos solos encontrados nas regiões da Encosta Superior do Nordeste e Campos de Cima da Serra do RS. A partir da correção com calcário, elevando o pH para 5,5 ou mais, o Al^{3+} deixa de existir na forma livre (precipita) e o Ca^{2+} e o Mg^{2+} normalmente passam a ocupar mais de 90% das cargas.

4.3.2.4 O papel do K^+

Outro macronutriente importante é o potássio (K^+), que é absorvido em grandes quantidades pelas plantas, na forma protônica. As cargas positivas dos cátions de potássio auxiliam na manutenção da neutralidade tanto do solo quanto das plantas, balanceando as cargas negativas dos nitratos, fosfatos e outros ânions (TROEH; THOMPSON, 2007). Em

solos com pH igual ou superior a 5,5, a quantidade de K^+ varia entre 1 e 5% do total de cátions adsorvidos pelas cargas negativas (ERNANI, 2016).

O K^+ presente na solução do solo alcança as raízes das plantas normalmente por difusão, com menor quantidade chegando por fluxo de massas. Dentro das plantas, o potássio auxilia na absorção de outros nutrientes e sua movimentação no interior do vegetal. Ele próprio move-se prontamente no interior da planta e tende a ser translocado para zonas de crescimento. Por isso, sintomas de deficiência aparecem primeiro nos tecidos mais velhos. A deficiência de K causa o “enfazamento” das plantas (TROEH; THOMPSON, 2007).

Os requerimentos de potássio por parte das principais culturas vão, em média, desde 75 kg até 300 kg por hectare (WHITE, 2009).

4.3.2.5 O Ca^{2+} e a qualidade química do solo

De acordo com Troeh e Thompson (2007), o cálcio pode constituir mais de 5% da massa de solos salinos, em regiões áridas, e menos de 0,01% da massa do solo em regiões tropicais úmidas. A maioria dos solos de regiões úmidas temperadas contém entre 1 e 2% de cálcio. Esta quantidade é praticamente a mesma do conteúdo de potássio. O cálcio ocorre no solo e em plantas como cátion divalente Ca^{2+} . Os minerais de cálcio são intemperizados de forma mais rápida que a média dos minerais do solo. Por isto, este mineral tende a existir em quantidades muito pequenas em solos bastante intemperizados (como no caso do solo estudado nesta pesquisa, antes de receber correção com calcário).

Nas plantas, o cálcio é um componente estrutural das paredes das células e, por isso, vital para a formação de novas células. Na verdade, o cálcio encontra-se tão fortemente integrado às paredes celulares que, diferentemente do potássio, não pode ser removido de células velhas para formar novas células. O cálcio interage com muitos outros nutrientes; por esta razão, uma reserva adequada de cálcio é necessária para estimular a absorção de potássio e nitrogênio (TROEH; THOMPSON, 2007).

Avaliando crescimento de plantas, caracteres da produtividade de grãos e acumulação de cálcio, potássio e magnésio nas folhas e grãos em cultivares de feijão, em resposta à concentração de cálcio na solução nutritiva, Domingues et al. (2016) observaram que a massa seca da parte aérea e das raízes, a produtividade de grãos e a acumulação de Ca nas folhas e grãos foram aumentadas linearmente em plantas de feijão supridas com 2,20 a 4,95 mmol L⁻¹ de cálcio. Altas concentrações de cálcio não reduziram a acumulação de cálcio, potássio e magnésio nas folhas e nos grãos. Plantas de feijão produzidas com altas concentrações de

cálcio apresentaram maior massa seca de parte aérea e de raízes, alta produtividade de grãos e alta concentração de cálcio nas folhas e nos grãos.

Segundo White (2009), a remoção média de cálcio do solo pelas principais culturas agrícolas varia de 10 a 100 kg por hectare.

De acordo com a “lei do mínimo” de Liebig, para que a produção não seja limitada por aquele nutriente presente em menor proporção ou disponibilidade, tão importante quanto a quantidade absoluta de um nutriente é a quantidade relativa deste nutriente no solo. Isto se aplica também à relação Ca:Mg, na saturação por bases (HERNANDEZ; SILVEIRA, 1998).

4.3.2.6 Importância do Mg^{2+}

O magnésio é um macronutriente e, no solo, é encontrado preferencialmente nas partículas menores, como as argilas. O intemperismo reduz sensivelmente os teores de magnésio no solo. A forma trocável é a maior fonte deste elemento no solo. O íon Mg^{2+} é quimicamente similar ao íon Ca^{2+} . Entretanto, existem diferenças importantes no comportamento destes dois íons, tanto nos minerais, quanto nas plantas. O íon não hidratado de Mg^{2+} é pequeno o suficiente para se encaixar em espaços octaédricos em estruturas minerais, enquanto que o íon Ca^{2+} requer espaços maiores (TROEH; THOMPSON, 2007). Por outro lado, após a hidratação, o raio do íon Mg^{2+} é maior que o do íon Ca^{2+} , o que favorece a esse último quando da adsorção eletrostática (ERNANI, 2016).

Dentro da planta, o magnésio é vital para a fotossíntese, porque toda molécula de clorofila contém um íon de magnésio no âmago da sua complexa estrutura. Ele é, de fato, o único elemento metálico presente na clorofila. A maior parte do magnésio, nas plantas, é encontrado, ou na clorofila, ou nas sementes, embora em menor quantidade esteja distribuído também por outras partes da planta. Seu comportamento, no interior da planta, assemelha-se mais ao do potássio do que ao do cálcio, sendo translocado de uma parte para outra (ex: nas folhas, em caso de deficiência, das extremidades para o centro). Em animais, a deficiência de magnésio, por alimentarem-se com plantas deficientes, causa a hipomagnesemia em ruminantes (TROEH; THOMPSON, 2007).

A remoção média de magnésio do solo, por parte das principais culturas agrícolas fica entre 5 e 25 kg por hectare. Excepcionalmente, culturas como o milho ou o dendê, de alto rendimento, podem remover entre 50 e 60 kg/ha de magnésio do solo (WHITE, 2009).

4.3.2.7 Qualidade química pela reciclagem de nutrientes: caminho para a sustentabilidade na agricultura

Desde a Revolução Verde, imensas quantidades de fertilizantes químicos solúveis (NPK) têm sido aplicadas aos solos ao redor do mundo, assim como grandes volumes de agrotóxicos. Embora justificado como o caminho para atender ao crescimento da demanda por alimentos, este modelo de agricultura vem dando claros sinais de esgotamento, principalmente pelas contaminações causadas ao ambiente e às pessoas. Este fato relaciona-se não só com o uso de agrotóxicos, mas também com o uso continuado de fertilizantes químicos solúveis, que colaboram para efeitos indesejáveis nos sistemas agrícolas, como a degradação do solo, perda de diversidade microbiana, contaminação de águas subterrâneas e poluição da atmosfera (MAJI, 2016). Assim, dentro de uma visão sustentável, a qualidade química do solo não pode ser atingida mediante o uso massivo de fertilizantes químicos solúveis. Por isso, a ênfase deve estar na reciclagem de nutrientes, através do uso intenso de plantas (adubação verde), com a maior diversidade de famílias e espécies possível (GOTSCH, 1997).

4.4 CAPACIDADE DE USO DA TERRA

O uso racional do solo deve ser baseado em atividades produtivas que considerem o potencial de terras para diferentes formas de uso, fundamentado no conhecimento das potencialidades e fragilidade dos ambientes, de forma a garantir a produção e reduzir os processos geradores de desequilíbrio ambiental, com base em tecnologias ambientalmente apropriadas (MAFRA et al., 2007).

Os sistemas técnicos que avaliam o potencial produtivo das terras, como o da capacidade de uso ou da aptidão agrícola, são fundamentados na classificação técnico-interpretativa de solos, agrupados em classes homogêneas quanto à sua máxima capacidade de uso sem risco de degradação. A determinação do potencial de uso da terra é uma poderosa ferramenta utilizável ao seu planejamento e uso, pois identifica, para determinada parcela de terra, sua capacidade de sustentação e produção econômica, preservando os recursos naturais (MAFRA et al., 2007).

O controle da erosão hídrica é favorecido pelo uso adequado da terra que, juntamente com o sistema de manejo do solo, comumente são planejados de acordo com características locais, levando-se em conta propriedades relacionadas à declividade, profundidade do perfil, textura, grau de erosão presente e permeabilidade do solo à água. As classes de uso assim

obtidas são baseadas na suscetibilidade o solo à erosão hídrica, tendo como objetivo principal o seu uso sustentado. No entanto, na prática, raramente isto é observado ao se utilizar determinada gleba de terras, visto que estas propriedades em geral não são conhecidas (BERTOL; SANTOS, 1995).

4.4.1 Uso da terra: a percepção do agricultor

Como visto, apesar de todo o conhecimento científico desenvolvido pela ciência do solo, na prática, observa-se que nem sempre as recomendações técnicas daí decorrentes são seguidas pelos agricultores em sua tomada de decisão sobre que uso da terra adotar. A explicação para isto vai além de questões meramente técnicas ou mesmo econômicas e decorre também de elementos históricos, étnicos, culturais, além de conhecimentos sobre administração rural e contabilidade agrícola, ecologia, potencial de uso do solo, crédito agrícola, mecanização, mercado, etc. (PEREIRA, 2004).

Para entender melhor este conflito no uso da terra – entendido como o uso adotado pelo agricultor em desacordo com as recomendações agronômicas – deve-se ter consciência da diferença de percepção, em relação ao solo, entre o agricultor e a tecnociência agronômica. Também de que tanto uma quanto outra podem mudar, já que são permanentemente construídas histórica, cultural e cientificamente (no caso da ciência do solo). Uma abordagem mais completa da questão é proporcionada pela Etnopedologia, disciplina híbrida que faz parte da Etnoecologia e que está estruturada através da combinação das ciências naturais e sociais, incorporando conhecimentos da Ciência do Solo, da Antropologia Social, do levantamento geopedológico, da Geografia Rural, da Agronomia e da Agroecologia (PEREIRA, 2004). A Etnopedologia também é reconhecida como a parte da Ciência do Solo que estuda o conhecimento que a população rural local ou regional tem acerca do solo e sua relação com o desenvolvimento – local e regional (BARRERA-BASSOLS; ZINCK, 1998).

Em seu estudo sobre Etnopedologia no Planalto Sul Catarinense, Pereira (2004) baseou-se na teoria do conhecimento e construção das redes sócio-técnicas, de Latour (2000), complementada por referenciais teóricos que enfocam o conhecimento nativo a partir da Antropologia Social e também por uma visão crítica sobre as teorias difusionistas-inovadoras, que constituem o ponto de vista que os agentes de desenvolvimento (extensionistas) têm sobre os processos de mudança tecnológica e substituição do conhecimento local (Hoje, é impossível ignorar a influência dos vendedores de insumos – cujo número supera em muitas vezes o de extensionistas das instituições oficiais, como EPAGRI, EMATERs, etc. – sobre as

decisões dos produtores rurais, devida à frequência de visitas feitas por estes profissionais, somada às motivações não só de ordem técnica, mas também comercial). A hipótese levantada pelo autor foi confirmada, ou seja, de que o conflito no uso do solo é decorrente das diferenças de percepção entre a Ciência do Solo e o conhecimento local sobre o uso e manejo do solo. A percepção dos produtores rurais é uma construção histórica, baseada nas tradições, nos costumes, na sócio-lógica de cada ator social. Daí, conclui o autor que, embora o desenvolvimento da agropecuária esteja ligado a condições fisiográficas, ele é fortemente influenciado pela cultura e os conhecimentos locais.

Em relação especificamente à observância do potencial agrícola do solo para a decisão sobre qual manejo adotar, a percepção cultural é algo intrínseco e historicamente construído em cada indivíduo e está relacionada ao grupo social a que pertence ou pertenceu. Portanto, é passível de mudança no tempo e no espaço, que se dá quando novas invenções e avanços tecnológicos ocorrem no mundo científico e na sociedade de consumo de um modo geral. Estes aspectos são relevantes por provocarem novas demandas de consumo e determinarem novos valores, novas formas de exploração e, conseqüentemente, os perfis de produtores que deverão permanecer ou não na atividade, podendo determinar a exclusão social dos mesmos (PEREIRA, 2004).

4.5 CONHECIMENTO CIENTÍFICO E CONHECIMENTO TÁCITO DOS AGRICULTORES: UM DIÁLOGO NECESSÁRIO E PRODUTIVO

Para ser efetivo, o conhecimento científico gerado na academia precisa dialogar com a rica experiência dos produtores rurais, fundamentada na práxis, como defende a Agroecologia (GLIESSMAN, 2009), bem como com a cultura local, para a construção de tecnologias rentáveis e sustentáveis, já que são os produtores rurais que atuam no contato direto com a natureza (Altieri, 2012). Exemplo disso é tecnologia do Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH), desenvolvida há mais de vinte anos pela EPAGRI – Estação Experimental de Ituporanga, SC, sob a liderança do pesquisador Jamil Abdalla Fayad (SILVEIRA, 2007). O SPDH apresenta-se como uma das formas de transição mais ecológicas de produção de hortaliças saudáveis, para a sociedade e o ambiente natural, capaz de, gradualmente, tornar mais equilibradas as relações presentes neste cenário. Nestes mais de vinte anos, o processo agregou a pesquisa e a extensão, e aprofundou relações técnico-científicas entre EPAGRI, ONGs, UFSC-CCA e UDESC-CAV. Uma parcela dessas instituições vem desenvolvendo o SPDH mediante Lavouras de Estudo, pesquisas com a participação da comunidade, cursos,

viagens de estudos, encontros de socialização de resultados entre agricultores e comunidade, palestras e publicações (FAYAD, 2016). Tecnologia que visava, num primeiro momento, viabilizar a conservação do solo e o uso sustentável da terra na região do Alto Vale do Itajaí, em Santa Catarina (de relevo forte ondulado), o SPDH acabou por tornar-se um tema gerador, que aglutina e articula pessoas e entidades envolvidas com a agricultura num processo de conversão do atual modelo de produção agrícola praticado por este segmento da agricultura. Dessa forma, o SPDH constitui hoje não só um novo sistema de produção de hortaliças para a região, mas um caminho para o desenvolvimento rural sustentável. Esse processo de conversão baseia-se em qualificar o nível de formação, informação e articulação do agricultor, respeitando a sua experiência, de forma que ele também seja protagonista do processo de desenvolvimento e mudança (SILVEIRA, 2007).

4.6 USO DA TERRA E RESILIÊNCIA

Neste estudo, houve mudança no uso da terra na área onde se investigou a resiliência do solo, já que ali foi abandonado o cultivo de olerícolas em sistema convencional, passando a seguir por cultivo de grãos em SD e, após, cultivo orgânico de amora (como descrito com detalhes em Material e Métodos). Esta mudança no uso da terra trouxe consigo uma modificação substancial no sistema de manejo do solo: cessamento de revolvimentos e implantação de um cultivo perene, com uso de plantas de cobertura de inverno nas entrelinhas. Além das modificações de ordem física, do ponto de vista químico, o fato de tratar-se este de um cultivo perene orgânico levou também ao cessamento de toda e qualquer aplicação de substâncias químicas sintéticas, seja de agrotóxicos ou de adubos solúveis. Estes fatos são relevantes e certamente influenciaram de modo decisivo nos resultados encontrados, sobretudo na expressão da resiliência do solo. No entanto, em outros casos, não foi necessária a mudança no uso da terra para que houvesse modificações decisivas no sistema de manejo do solo. Este é o caso do SPDH, desenvolvido pela EPAGRI em Santa Catarina, que tem possibilitado o desenvolvimento da olericultura com melhor conservação do solo, levando ao uso sustentável da terra, como destacado anteriormente (SILVEIRA, 2007, FAYAD, 2016). O SPDH comprova que é possível manter o mesmo uso da terra – neste caso, olericultura – promovendo a recuperação do solo. Em outras palavras: é possível, mediante a adoção de um sistema de manejo conservacionista, produzir espécies olerícolas ao mesmo tempo em que se oportuniza ao solo recuperar-se, a partir da sua capacidade de resiliência. O rico histórico de sucessos do SPDH, em diferentes locais e em distintos tipos de solo, indica que, no caso do

presente estudo, a mudança no sistema de manejo do solo para conservacionista permitiria ao solo manifestar sua resiliência, recuperando sua qualidade, mesmo se não tivesse havido mudança no uso da terra, para cultivo perene.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E SOLO

A pesquisa foi desenvolvida na Fazenda Meia-Lua, na localidade do Guacho, em Campestre da Serra – RS, município cujo território encontra-se dividido em duas partes distintas, estando a porção sul compondo a Encosta Superior do Nordeste do RS, de relevo montanhoso, enquanto a porção norte faz parte dos Campos de Cima da Serra, com relevo ondulado e suave-ondulado. A propriedade está localizada nesta última região (campos), apresentando altitudes entre 850 m e 910 m (Figura 1). O clima da região é do tipo Cfb: temperado úmido, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média mensal varia de 11,4°C a 20,6°C, com pluviosidade média anual de aproximadamente 1.800 mm (PEREIRA et al., 2009). Os solos da região são originários de rochas magmáticas extrusivas, formadas a partir de derrames basálticos, pertencendo à Formação Serra Geral, do período Cretáceo (BRASIL, 2008). O solo é classificado com um Latossolo Bruno, segundo o SiBCS (EMBRAPA, 2013).

A Fazenda Meia-Lua desenvolve o cultivo orgânico de grãos em semeadura direta (SD), integração lavoura pecuária (ILP), sistemas agroflorestais (SAFs) com frutíferas nativas, cultivo orgânico de amora-preta, mirtilo, butiá, uvaia e araçá, havendo uma área arrendada a terceiros para o cultivo de alho em sucessão à soja. Há também áreas de campo e mata nativos.

Figura 1 – Localização da área de estudo: Fazenda Meia-Lua, no município de Campestre da Serra, RS.



Coordenadas: 28°44'20" S 51°60'30" O

Fonte: Acervo do autor.

5.2 TRATAMENTOS

Para este estudo, foram escolhidos três tratamentos, encontrados em usos da terra e manejos pré-existentes na propriedade, que são descritos adiante e a serem:

Tratamento 1 – cultivo orgânico de amora (COA);

Tratamento 2 – mata nativa (MTN);

Tratamento 3 – sucessão alho-soja (SAS).

A partir da hipótese de pesquisa, que pressupõe a resiliência do solo do tratamento 1 – COA, buscou-se verificar se este solo apresentou a capacidade de recuperar sua qualidade física estrutural e funcional (principalmente), mantendo ou melhorando também a qualidade química. Após ter sofrido manejo com intenso revolvimento, seis anos atrás este solo passou a manejo conservacionista, até o presente. Para alcançar o objetivo proposto, tomou-se como referência os solos dos demais tratamentos, um por representar o ecossistema clímax da região (2 – MTN) e o outro (3 – SAS) por encontrar-se atualmente sob o mesmo uso em que o

tratamento COA encontrava-se há seis anos atrás, com manejo de intenso revolvimento. O período transcorrido desde a conversão para manejo conservacionista (seis anos) representa o tempo para que este solo pudesse manifestar a sua resiliência.

5.2.1 Tratamento 1: Cultivo orgânico de amora – COA

Como descrito acima, este é o tratamento onde, efetivamente, avaliou-se a resiliência do solo. Encontra-se em área com cultivos orgânicos certificados perenes, em talhões intercalados, sendo 2 ha de amora-preta (*Rubus* sp.) da variedade Tupy, divididos em 15 talhões com 5 fileiras (espaldeiras) cada; 1 ha de mirtilo (*Vaccinium* sp.) das variedades Bluecrop 1 e 2, Flórida e Clímax, dividido em 7 talhões com 4 fileiras cada; 1,2 ha de frutíferas nativas, sendo o butiá (*Butia eriospatha*) em fileiras separadas e uvaia (*Eugenia Pyriformis*) e araçá (*Psidium cattleianum*). Este 1,2 ha de nativas está dividido em 8 talhões, com 3 fileiras cada. Tanto o mirtilo quanto as frutíferas nativas encontram-se nos estádios iniciais de desenvolvimento. A localização do tratamento 1 é mostrada na figura 2, onde se pode ter uma ideia da sua posição em relação aos outros dois tratamentos. O solo foi coletado entre os talhões da amora, onde são semeadas plantas de cobertura de inverno (poáceas), como centeio (*Secale cereale*, L.) e aveia-preta (*Avena strigosa*, Schreb), todos os anos, com uso de semeadora para SD, enquanto que com o azevém (*Lolium multiflorum*, L.) ocorre a ressemeadura natural. O mesmo acontece com o trevo-vermelho (*Trifolium pratensis*, L.) e o trevo-branco (*Trifolium repens*, L), fabáceas que ajudam na fixação de N para o sistema. Durante o verão, cresce apenas a vegetação espontânea diversificada, que é roçada na época de colheita da amora, em novembro e dezembro.

São realizadas duas podas na cultura da amora a cada ano: a primeira se dá pela retirada das hastes “velhas” (que produziram) ao término da colheita; a segunda é a poda “de frutificação”, feita no inverno, quando se prende os ramos preservados aos arames das espaldeiras. Todo o material retirado nas podas fica sobre o solo, sendo posteriormente triturado por roçadeira presa ao trator. Este manejo é possível graças ao excelente *status* sanitário do pomar, que não apresenta problemas de pragas, como a broca-da-amora (*Eulechriops rubi*) ou doenças, caso em que seria recomendada a retirada do material do pomar e queima do mesmo, para a eliminação de inóculos (PAGOT et al., 2007). Desse modo, o solo encontra-se permanentemente coberto, tanto por plantas vivas, quanto por resíduos vegetais, com constante aporte de biomassa. No entanto, como esse manejo é recente, os efeitos positivos esperados ainda não devem ser percebidos.

Figura 2 – Aspecto da área do tratamento 1 (COA), fevereiro de 2017.



Fonte: Acervo do autor.

Em relação ao histórico da área onde encontra-se o tratamento 1 (COA), os talhões de amora foram implantados em 2014; já os talhões de frutíferas nativas e de mirtilo foram implantados em 2016 e 2017, respectivamente. Até o ano de 2011, o solo desta área era utilizado da mesma forma que o do tratamento 3 – SAS (referindo-nos aos primeiros quatro anos, dos sete em que o solo em SAS recebeu manejo intensivo). Ou seja: cultivo de alho no inverno e espécies olerícolas estivais em sucessão, principalmente beterraba (*Beta vulgaris*, L.). Este uso da terra e manejo com intenso revolvimento tanto no inverno quanto no verão ocorreu durante seis anos: de 2006 até 2011. A partir de então, houve cultivo de grãos em SD durante dois anos (2012 e 2013), sendo que, a partir de 2014, iniciaram os cultivos orgânicos perenes. Em síntese, de 2006 a 2011 o solo foi intensamente revolvido; daí até 2013, a única perturbação foi pela semeadora de grãos em SD e trânsito de máquinas, como trator,

colhedora, etc.; e, a partir de 2014, nenhum revolvimento. Apenas o trânsito de trator, semeadora de plantas de cobertura de inverno, e implementos usados nos manejos das frutas.

5.2.2 Tratamento 2: Mata nativa – MTN

A MTN foi estudada por tratar-se do ecossistema clímax da região – Floresta Ombrófila Mista Montana (de 500 até 1.000 m de altitude) (IBGE, 2012). Os fragmentos de “mata de Araucárias”, como também é chamada, regionalmente denominados “capões de mato”, são encontrados na paisagem formando mosaicos com os campos naturais e lavouras. Pillar et al. (2009) realizaram análises palinológicas de turfeiras na região dos Campos de Cima da Serra do Rio Grande do Sul, encontrando grãos de pólen de diversas espécies vegetais que povoaram a região em diferentes épocas do passado. A partir desta técnica, aliada a outras, conseguiram reconstruir a história destes campos durante o Quaternário Tardio. Segundo os autores, a vegetação arbórea esteve provavelmente ausente nesta região entre 42.840 anos C AP e 11.500 anos cal AP (idade em anos rádio-carbono calibrados antes do presente). Os campos ainda dominavam a paisagem até 4.320 anos cal AP (final do Holoceno Inferior), com sua vegetação mais adaptada ao clima frio e seco deste período. Espécies da Mata de Araucária aumentaram um pouco, mas ainda eram raras. Somente durante a primeira parte do Holoceno Superior (4.320 até 1.100 anos cal AP), a floresta de Araucárias se expandiu na região dos Campos, formando uma rede de florestas de galeria. Graças à mudança ocorrida no clima, que se tornou cada vez mais quente e úmido, a floresta é considerada o ecossistema clímax climático da região, na atualidade (PILLAR et al., 2009).

A localização do fragmento ou capão de mato que representou o tratamento 2 neste estudo, é indicada na (Figura 3).

Em relação ao histórico de uso, durante mais de um século houve presença de gado (principalmente bovinos, mas também ovinos e equinos) nestes campos, que acabavam por adentrar os capões de mato, para buscar sombra, no verão, ou abrigo e alimento, no inverno. Este foi o caso do capão utilizado neste estudo. O gado só foi impedido de acessar a área a partir de 2013, por cercamento. Apesar de sempre ter havido controle de lotação, evitando-se o excesso de animais, seu tráfego dentro da mata nativa sempre causa algum tipo de impacto, como uma possível compactação superficial do solo.

Além do gado, este capão serviu para abrigo durante as refeições das pessoas que trabalharam na colheita do alho, em anos seguidos, o que certamente gerou mais impactos sobre a vegetação e sobre o solo. Não há como mensurar, neste estudo, a magnitude dos

impactos causados pelo gado e pela presença humana. Entretanto, o histórico de cada área sempre é importante para uma compreensão mais correta dos resultados encontrados pela pesquisa.

Figura 3 - Aspecto da área do tratamento 2 (MTN), fevereiro de 2017.



Fonte: Acervo do autor.

5.2.3 Tratamento 3: Sucessão alho-soja – SAS

Este tratamento serviu como comparativo para poder-se avaliar a resiliência do solo no tratamento 1 – COA. Encontra-se em uma área com 4 ha (Figura 4), próxima, porém não contígua aos demais tratamentos. O histórico mostra que esta área está sob manejo intensivo do solo já há sete anos, sendo que a sucessão de alho (*Allium sativum*, L.), no inverno, e soja (*Glycine Max*, L.), no verão, está em seu terceiro ano consecutivo. Nos quatro anos anteriores a estes, cultivou-se espécies olerícolas estivais em vez de soja, em sucessão ao alho, havendo intenso revolvimento tanto no inverno quanto no verão.

Figura 4 – Aspecto dos canteiros de alho em SAS. Inverno de 2016.



Fonte: Acervo do autor.

5.2.3.1 Cultivo do alho em 2016

5.2.3.1.1 Correção do solo e adubações

Apesar de tratar-se de área de lavoura cultivada há mais de dez anos (durante os três anos anteriores aos sete mencionados acima, houve o cultivo de grãos em SD), a análise de solo mostrou ser necessária nova correção para o cultivo de alho em 2016, que foi feita com calcário dolomítico, na dose de 5 toneladas por hectare.

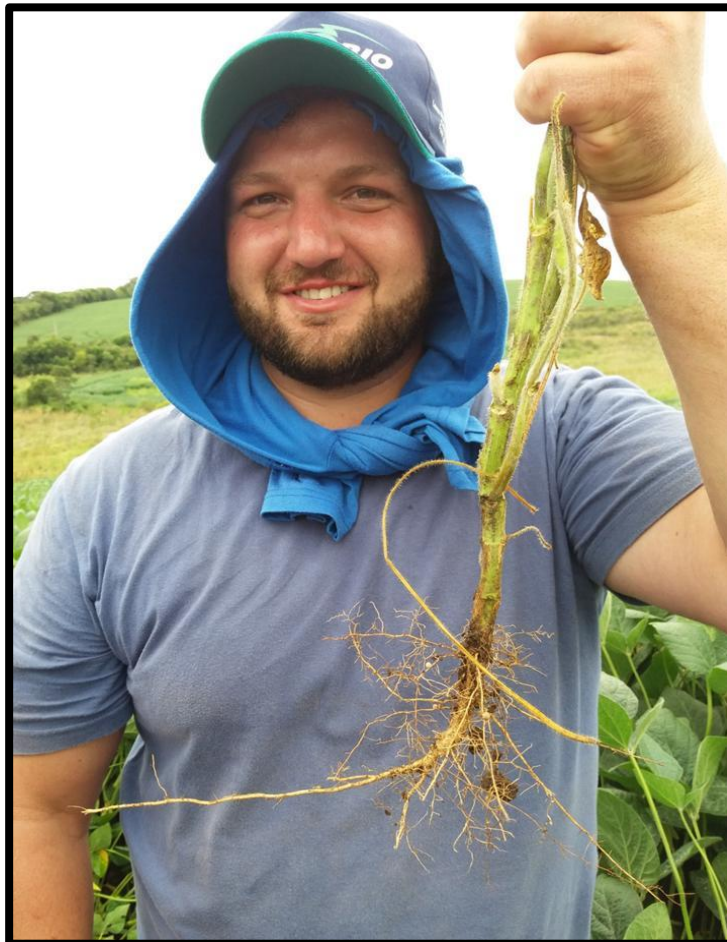
A adubação com NPK foi de 2 ton da fórmula 05:30:15 por ha, além de 0,5 ton de 12:00:24 por ha, aplicados em cobertura. Também foi feita adubação orgânica, com a aplicação de 35 m³ de esterco de peru (cama de 3 criadas) por ha. Foram aplicados boro e zinco, nas dosagens de 40 e 30 kg/ha, respectivamente. Realizou-se ainda a adubação foliar com 4 aplicações de Gigamix Plus (Si).

5.2.3.1.2 Preparo do solo

O cultivo do alho foi feito de forma convencional, com intenso revolvimento do solo. Para o plantio, o preparo do solo envolveu, na sequência: uma passagem de grade-aradora, duas subsolagens, três passagens de grade-niveladora e uma passagem de encanteiradeira

(com enxada rotativa), para a confecção dos canteiros. Após a colheita do alho, na primavera, a soja foi plantada com semeadora-adubadora para SD. A Figura 5 mostra uma planta de soja cuja raiz dobrou a aproximadamente 15 cm de profundidade, por impossibilidade de aprofundamento. A provável causa deve ser a formação de “pé-de-grade” logo abaixo da camada intensamente revolvida pelas enxadas rotativas da encanteiradeira.

Figura 5 – Detalhe de raiz da soja dobrada por enfrentar resistência à penetração de raízes abaixo da camada de solo revolvida (pé-de-grade).



Fonte: Acervo do autor.

5.2.3.1.3 Tratamentos fitossanitários

Os tratamentos fitossanitários (somente para a cultura do alho) incluíram:

- 2 aplicações com herbicida Totril (Benzonitrila).
- 1 aplicação do fungicida sistêmico Cercobin (Tiofanato-Metílico).
- 3 aplicações do fungicida sistêmico Derosal (Benzimidazol).
- 2 aplicações do fungicida sistêmico Amistar (Estrubilurina).
- 3 aplicações do fungicida sistêmico Folicur (Triazol).

- 3 aplicações do fungicida/bactericida Kazumin (Casugamicina).
 - 3 aplicações do inseticida Engio Pleno (Neonicotinoide e Piretroide).
- Total: 17 intervenções.

Figura 6 – Localização e posição relativa dos três tratamentos dentro da área de estudo.



Fonte: Acervo do autor.

5.3 COLETAS DE SOLO PARA ANÁLISES FÍSICAS, QUÍMICAS E DE CARBONO ORGÂNICO

5.3.1 Época de coleta

As coletas de solo foram realizadas em fevereiro de 2017. Nesta época, no tratamento 1 (SAS), a cultura da soja já estava estabelecida (Figura 7). Portanto, aí, tomou-se o cuidado de coletar somente nas entrelinhas das plantas. Nos demais tratamentos, a época de coleta escolhida não coincidiu com nenhuma especificidade relevante.

Figura 7 – Coleta de solo em SAS. Fevereiro de 2017.



Fonte: Acervo do autor.

5.3.2 Umidade do solo

Quanto à umidade, o solo foi coletado somente quando encontrava-se friável ao tato (próximo da capacidade de campo), tendo-se adiado a coleta enquanto esta condição não era atendida (solo muito úmido/plástico ou muito seco/duro).

5.3.3 Metodologia de coleta

5.3.3.1 Localização

Em cada um dos três tratamentos, o solo foi coletado em quatro trincheiras, totalizando doze trincheiras. O local das trincheiras foi escolhido de forma a que a coleta fosse a mais representativa possível de cada área. A localização das trincheiras em cada um dos tratamentos é indicada a seguir.

5.3.3.1.1 Tratamento 1 – Cultivo orgânico de amora (COA)

Trincheira 1: S – 28°43'531"; W- 51°05'290"

Trincheira 2: S – 28°43'544"; W – 51°05'302"

Trincheira 3: S – 28°43'560"; W – 51°05'331"

Trincheira 4: S – 28°44'003"; W – 51°05'340"

5.3.3.1.2 Tratamento 2 – Mata nativa (MTN)

Trincheira 1: S – 28°44'167"; W – 51°05'870"

Trincheira 2: S – 28°44'195"; W – 51°05'873"

Trincheira 3: S – 29°44'191"; W – 51°05'896"

Trincheira 4: S – 28°44'212"; W – 51°05'907"

5.3.3.1.3 Tratamento 3 – Sucessão alho-soja (SAS):

Trincheira 1: S – 28°44'240"; W – 51°05'762"

Trincheira 2: S – 28°44'273"; W – 51°05'778"

Trincheira 3: S – 28°44'317"; W – 51°05'757"

Trincheira 4: S – 28°44'283"; W – 51°05'742"

5.3.3.2 *Profundidade de coleta: determinação das camadas avaliadas*

As coletas foram feitas em três diferentes camadas: 0,0 -0,05 m, 0,05 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m, denominadas camadas 1, 2 e 3, respectivamente. Com isso, objetivou-se verificar os efeitos dos manejos estudados especificamente em cada uma destas camadas, já que os solos não revolvidos (caso dos tratamentos 1 e 2) costumam apresentar gradiente de fertilidade ao longo do perfil, em função do acúmulo de resíduos vegetais na superfície, e de adubos e corretivos na camada mais próxima à superfície (tratamento 1) (SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2002).

5.3.3.3 *Formas de coleta do solo*

5.3.3.3.1 Agregados, densidade de partículas, análises químicas e carbono orgânico

Para a análise de densidade de partículas (Dp), químicas e carbono orgânico (CO) foram coletados, em cada trincheira, amostras de solo com estrutura alterada e acondicionadas em sacos plásticos. Para a análise de agregados foram coletados torrões de solo e também acondicionados em sacos plásticos.

5.3.3.3.2 Porosidade total e densidade do solo

Para a determinação da porosidade total (P_t) e da densidade do solo (D_s) foram coletadas amostras de solo com estrutura não alterada (Figura 8). Para isso, foram utilizados anéis volumétricos metálicos (EMBRAPA, 1997), com altura aproximada de 50 mm e diâmetro aproximado de 61 mm (posteriormente, os anéis foram medidos e pesados individualmente, no laboratório). Os anéis foram coletados nas três

Figura 8 – Coleta de solo com estrutura preservada em COA. Fevereiro de 2017.



Fonte: Acervo do autor.

5.4 ANÁLISES LABORATORIAIS

5.4.1 Físicas

5.4.1.1 *Granulometria*

Para a determinação da granulometria do solo, as amostras coletadas foram analisadas pelo Método da Pipeta (EMBRAPA, 1997), tendo sido cada camada, trincheira e tratamento analisados separadamente, para melhor detalhamento em cada situação. A classe textural foi determinada de acordo com o triângulo adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS) (Figura 9).

Figura 9 – Triângulo para determinação das classes texturais utilizado pela SBCS.



Fonte: Santos et al. (2013 apud Pereira, 2017).

5.4.1.2 *Densidade de partículas, densidade do solo e porosidade total*

A densidade de partículas (D_p) foi determinada através do método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997). Após serem maceradas em Almofariz de Ágata, aproximadamente 50 g de terra fina seca ao ar (TFSA) foram colocadas em latas de peso conhecido e levadas à estufa a 105°, por 24 h. Após resfriadas em dessecador, foram

adicionadas aproximadamente 20 g um balão volumétrico aferido para 50 ml. Então, com auxílio de uma bureta, foi adicionado álcool até atingir a marca dos 50 ml, agitando o balão para eliminar as bolhas de ar formadas. Ao final, tomou-se a quantidade de álcool utilizada para cada amostra. A Dp foi então calculada pela seguinte equação:

$$Dp = \frac{20}{50 - Vol \text{ álcool gasto}}$$

onde: Dp = densidade de partículas, g cm³; Vol álcool gasto = Volume de álcool utilizada na determinação, cm³.

A Ds foi determinada pelo Método do Anel Volumétrico (EMBRAPA, 1997). Após a coleta do solo com estrutura não alterada, o conjunto anel e solo foi colocado em estufa a 105°C, por um período de 48 horas. Após, retirados da estufa, resfriados em dessecadores, foram pesados (anel com solo). Então, retirou-se o solo do anel, que foi lavado, seco e pesado. Pela diferença entre a massa do anel + solo e massa do anel sem solo, determinou-se a massa do solo seco. De posse destes dados, a Ds foi obtida pela equação:

$$DS = \frac{MSS}{V}$$

onde: DS = densidade do solo, g cm³; V = Volume do anel determinado por $\pi r^2 h$ (onde $\pi = 3,1416$; r = raio do anel; h = altura do anel), cm³.

Após as determinações da Dp e da Ds, a Pt foi obtida pela seguinte equação:

$$Pt = 1 - \frac{Ds}{Dp}$$

onde: Pt = porosidade total, cm³ cm³; Ds = densidade do solo, g cm³; Dp = densidade de partículas, g cm³.

5.4.1.3 Distribuição do tamanho e estabilidade de agregados estáveis em água

Para a análise de tamanho e estabilidade de agregados, as amostras de solo foram coletadas em sacos plásticos específicos, com capacidade para 3 kg, nas três camadas avaliadas (0,0-0,05 m; 0,05-0,10 m; e 0,10-0,20 m), em cada uma das 12 trincheiras,

perfazendo um total de 36 amostras. Durante a coleta, tomou-se cuidado para preservar ao máximo a estrutura dos torrões, para melhor atender à metodologia utilizada em laboratório, posteriormente.

A análise do solo em laboratório para determinação da estabilidade de agregados foi feita utilizando-se o Método da Porcentagem de Agregados (EMBRAPA, 1997; KEMPER; CHEPIL, 1965). Foi utilizado o aparelho de oscilação vertical em água, com peneiras de malha 4,76 mm; 2,00 mm; 1,00 mm e 0,25 mm, uma sob a outra em ordem decrescente. O aparelho foi ajustado para 42 rpm (rotações por minuto), oscilando durante dez minutos. Então, o solo retido em cada peneira foi passado para uma lata específica, previamente pesada e identificada, que foi levada para secagem em estufa a 105°C por 24 horas. Após a secagem, o solo retido em cada peneira foi pesado. De posse destes dados, foram calculados a porcentagem de agregados por classe de tamanho, o diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados e o índice de estabilidade de agregados (IEA) (Castro Filho et. al., 1998). O IEA foi obtido pela equação:

$$IEA = \frac{T_{Agr} - wp_{25} - areia}{T_{Agr} - areia} * 100$$

Onde: IEA = Índice de estabilidade de agregados do solo; T_{Agr} = amostra corrigida em relação ao teor de umidade (g); wp₂₅ = massa dos agregados menores que 0,25 mm (g).

5.4.2 Análises químicas e carbono orgânico total

Neste trabalho, as análises químicas serviram para verificar a qualidade do solo, no que se refere aos atributos químicos avaliados. Cabe ressaltar que a degradação do solo, referida no título, causada pelo sistema de manejo com intenso revolvimento em SAS (no presente) e em COA (no passado), diz respeito, a priori, aos atributos físicos que integram a QS, sobretudo à infiltração. A análise dos atributos químicos, portanto, serviu para dar mais consistência às informações obtidas, uma vez que na natureza há uma intensa inter-relação entre atributos físicos, químicos e biológicos, isolados artificialmente pelo método científico para facilitar seu estudo. A investigação da resiliência do solo em COA permitiu, dessa forma, analisar um quadro um pouco mais completo de informações sobre o que mudou, como e quanto, durante os seis anos de regeneração.

As análises químicas foram feitas a partir das amostras de solo coletadas separadamente em sacos plásticos específicos, com capacidade para 3 kg, nas três camadas

das 12 trincheiras. Assim, foram geradas amostras com numeração de 1 a 36, com diferente número de repetições, conforme o tipo de análise realizado.

5.4.2.1 pH

Para aferição do pH (em água), as amostras de solo foram submetidas a análise no potenciômetro com eletrodo combinado (EMBRAPA, 1997).

5.4.2.2 Alumínio

O alumínio foi determinado por titulometria de neutralização, com NaOH 0,0125 mol L⁻¹ e fenolftaleína como indicador (EMBRAPA, 1997).

5.4.2.3 Potássio

Determinado em espectrofotômetro de emissão atômica em chama (fotômetro de chama), DIGIMED, modelo DM-62, da Sala de Equipamentos do LASC da UDESC-CAV.

5.4.2.4 Cálcio e Magnésio

Cálcio e Magnésio foram determinados em espectrofotômetro de absorção atômica em chama PerkinElmer, modelo AAnalyst, 200, da SE-LASC, da UDESC-CAV.

5.4.2.5 Carbono orgânico total

O carbono é o principal constituinte da MOS, com cerca de 58% (Primavesi, 2002). A matéria orgânica representa, normalmente, menos de 5% dos constituintes sólidos do solo (Ernani, 2016). Mesmo assim, sua importância é amplamente reconhecida.

No Brasil, existem várias metodologias utilizadas para quantificação da matéria orgânica do solo, baseadas na determinação do teor de carbono orgânico total (COT) no solo. Dentre elas destacam-se: (1) – Oxidação por via úmida, Walkley-Black (WB) reduzido, e (2) - Oxidação por via seca (Auto-analisador “T.O.C. - Total Organic Carbon”). Devido à simplicidade e baixo custo de análise, o método WB é o mais empregado em laboratórios de solos, porém este pode apresentar menores valores de COT que o método 2 quando a

oxidação no primeiro é incompleta. Além disso, os resíduos gerados devem ser tratados antes de serem descartados por conter compostos tóxicos e carcinogênicos, como o cromo, o que gera custos adicionais. Devido à boa reprodutibilidade, baixo custo de consumíveis e não geração de resíduos, o método T.O.C. deve ser preconizado pelos laboratórios de análise, garantindo a utilização de uma “química limpa” (LAZARI et al., 2016). Por isso, o T.O.C. foi o método utilizado neste trabalho.

Para medir C por C.O.T, foi utilizado o equipamento Multi N/C Analytik Jena, modelo 2.100 S, da Sala de Equipamentos do Laboratório de Análise de Solos e Calcário da UDESC-CAV.

5.5 ANÁLISES REALIZADAS *IN SITU*

5.5.1 Infiltração de água no solo

A medida da taxa de infiltração de água foi utilizada por revelar o comportamento hidráulico do solo, que traduz em termos funcionais o quão eficaz está resultando a interação e a sinergia existentes entre os atributos do solo de caráter estrutural, como agregação, porosidade, etc., conforme destacado na revisão da literatura.

A metodologia utilizada para quantificar a infiltração de água no solo foi a dos anéis concêntricos (BOUWER, 1986). Foram feitas três repetições em cada tratamento (três jogos de anéis), totalizando nove repetições. Sua distribuição espacial buscou a melhor representatividade possível de cada uma das áreas estudadas.

O tempo total de observação foi de 120 minutos para COA e MTN, e de 180 minutos para SAS.

Os intervalos entre leituras foram menores no início da medição, aumentando gradualmente com o transcorrer do tempo para todos os tratamentos, conforme preconizado pela metodologia. No entanto, tiveram que ser adequados à velocidade de infiltração de cada solo, para viabilizar a execução do método. Assim, os intervalos foram:

a) em COA – de: 1 minuto, do minuto zero ao dez; 2 minutos, do minuto dez ao vinte; 5 minutos, do minuto vinte ao sessenta; e de 10 minutos, do minuto sessenta ao minuto cento e vinte.

b) em MTN – de: 1 minuto, do minuto zero ao dez; 5 minutos, do minuto dez ao trinta; e de 15 minutos, do minuto trinta ao cento e vinte.

c) em SAS – de: 10 (dez) minutos, do minuto zero ao cento e vinte; e de 15 minutos, do minuto cento e vinte ao cento e oitenta.

A metodologia dos anéis concêntricos é uma forma de aplicação de água ao solo por inundação, diferindo de métodos como o da aplicação de chuva artificial. Neste último, há o impacto das gotas no solo, o qual reduz a infiltração (FORSYTHE, 1975), fenômeno ausente quando se utilizam os anéis concêntricos. Além disso, a utilização de anéis concêntricos requer que se considere a pressão hidráulica resultante do peso da água contida nos anéis (massa vezes gravidade), que leva a resultados superestimados para taxa de infiltração, podendo ser até 10 vezes maior do que aqueles obtidos com chuva (natural ou simulada). Por isso, recomenda-se utilizar um fator de correção ao redor de 10 sobre os dados encontrados (FORSYTHE, 1975).

Sendo assim, neste trabalho, o fator de correção utilizado foi 10. Ou seja, os valores encontrados a partir do uso dos anéis, em mm/h, foram divididos por 10, resultando nos números que são apresentados nos gráficos e tabelas.

Umidade do solo: a umidade do solo influencia a taxa de infiltração de água, que é maior quanto mais seco estiver o solo (FORSYTHE, 1975). Para determinação da umidade, foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0,0-0,20 m, logo ao lado de cada uma das três repetições por tratamento. De posse dos resultados, foi calculada a umidade gravimétrica (UG) média de cada tratamento.

5.6 PROCEDIMENTOS ESTATÍSTICOS

Para o tratamento estatístico dos dados das análises físicas, químicas e de matéria orgânica foi utilizado um modelo de análise de variância para um delineamento inteiramente casualizado, com medidas repetidas. Os contrastes de médias para o efeito de tratamentos e de profundidades foram testados pelo teste t (DMS). Para os dados de textura, foram geradas médias por tratamento e por profundidade.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 ATRIBUTOS FÍSICOS e COT

6.1.1 Textura

Os resultados da análise textural (Tabela 1) mostram que, no tratamento 1 (COA), o solo é argiloso nas médias das três camadas de solo avaliadas, o mesmo acontecendo com o solo do tratamento 3 (SAS). Já no tratamento 2 (MTN), observou-se comportamento diferente para textura, sendo o solo franco na camada 1 (0,0-0,05 m), e franco-argiloso, tanto na camada 2 (0,05-0,10 m), quanto na camada 3 (0,10-0,20 m). Este fato não deixou de chamar a atenção, já que os solos desta região costumam ser argilosos, de acordo com todas as análises realizadas até hoje na propriedade, nas áreas de produção. Nas áreas de mata nativa, como é o caso deste tratamento, o solo nunca antes havia sido amostrado.

Tabela 1 – Porcentagem das frações argila, silte e areia e a classe textural, por camada de solo, nos tratamentos avaliados. COA = cultivo orgânico de amora; MTN = mata nativa; SAS = sucessão alho-soja.

Tratamento	Camada (cm)	Fração	%	Classe textural
COA ¹	0,0 – 0,5	Argila	41,12	Argiloso
		Silte	31,32	
		Areia	27,55	
	0,05 – 0,10	Argila	47,91	Argiloso
		Silte	28,83	
		Areia	23,25	
	0,10 – 0,20	Argila	53,38	Argiloso
		Silte	24,42	
		Areia	22,19	
MTN ²	0,0 – 0,05	Argila	24,25	Franco
		Silte	39,06	
		Areia	36,68	
	0,05 – 0,10	Argila	30,21	Franco-Argiloso
		Silte	38,86	
		Areia	30,92	
	0,10 – 0,20	Argila	35,72	Franco-Argiloso
		Silte	36,70	

SAS ³	0,0 – 0,05	Areia	27,57	Argiloso
		Argila	52,02	
		Silte	28,51	
		Areia	19,46	
	0,05 – 0,10	Argila	53,58	Argiloso
		Silte	27,01	
		Areia	19,40	
	0,10 – 0,20	Argila	55,86	Argiloso
		Silte	26,55	
		Areia	17,58	

¹ COA = Cultivo orgânico de amora

² MNT = Mata nativa

³ SAS = Sucessão alho-soja

6.1.2 Carbono orgânico total – COT

Os resultados encontrados para COT mostram, na camada de solo mais superficial, uma superioridade consistente apresentada pela mata nativa, em comparação com os demais tratamentos, com 8,30% de C (Tabela 2). Este resultado não causa surpresa, tendo em vista o constante aporte de resíduos vegetais, como folhas e ramos caídos das árvores que, uma vez transformados em matéria orgânica estável, contribuem de forma contínua com o teor de COT na superfície. De fato, as florestas contêm mais de 80% do carbono existente sobre o solo, no planeta, e até 70% daquele que se encontra no solo (FANG et al., 2015). O alto teor de carbono e, conseqüentemente, de MOS (Santos, 2008) encontrados na MTN na camada de 0,0-0,05 m respaldam os resultados superiores encontrados neste tratamento, para esta mesma camada, com relação ao maior diâmetro médio geométrico de agregados (CANELLAS, 2005).

Ainda em relação à camada de solo 1, observa-se que COA ficou em segundo lugar para teor de COT, com um valor expressivo (5,28%). O manejo conservacionista implementado nesta área há seis anos provavelmente tenha contribuído para este resultado, tanto pelo não revolvimento do solo, que poderia aumentar a taxa de mineralização da MOS, quanto pela manutenção da superfície coberta e aporte sistemático de fitomassa. Neste sentido, também na profundidade 1, COA apresentou o menor valor para Ds e o maior valor para Pt entre os tratamentos, como detalhado mais adiante.

Em relação à camada intermediária, de 0,05-0,10 m, nota-se uma situação diferente da anterior, com os maiores valores de COT ocorrendo no solo da sucessão alho-soja. Os dois outros tratamentos não diferiram entre si para esta variável. Na camada seguinte, de 0,10-0,20

m, os maiores valores de carbono foram encontrados também no solo da sucessão alho-soja. Esta superioridade verificada em SAS nas camadas 2 e 3 não deixa de ser intrigante, em função do intenso revolvimento a que este solo tem sido submetido, o que expõe a MOS a maiores taxas de mineralização (ALBUQUERQUE et al., 2005). Os relativamente altos teores naturais de MOS destas áreas (PILLAR et al., 2009), originalmente de campo nativo, podem ajudar a explicar estes resultados. Também os altos teores de argila deste solo proporcionam boas condições para a ocorrência de associações organominerais entre a MOS e as argilas, ficando a matéria orgânica mais protegida da ação de microrganismos (CANELLAS; SANTOS, 2005). Outra observação interessante é de que SAS manteve valores relativamente constantes para COT nas três camadas, com ligeiro decréscimo, diferentemente de COA e MTN, onde se verificou uma diminuição mais pronunciada dos valores com o aumento da profundidade. Isto remete à questão do não revolvimento do solo nestes dois últimos tratamentos, ao contrário do que ocorre em SAS. Assim, o manejo conservacionista em COA proporcionou a este solo um comportamento que segue o mesmo padrão (natural) do solo da MTN, o que constitui mais um indicativo da sua resiliência.

Tabela 2 – Carbono orgânico total (COT), Densidade de partículas (Dp), densidade do solo (Ds) e Porosidade total (PT) dos tratamentos avaliados.

Camada (m)	Tratamento			CV (%)
	COA ¹	MNT ²	SAS ³	
----- COT (g cm ³) -----				
0,0 – 0,05	5,28b	8,30b	4,99c	4,56
0,05 – 0,10	4,01b	4,06b	4,88 ^a	4,56
0,10 – 0,20	3,68b	3,18c	4,51 ^a	4,56
-----Dp (g cm ³) -----				
0,0 – 0,05	2,44	2,57	2,44	-
0,05 – 0,10	2,67	2,72	2,67	-
0,10 – 0,20	2,70	2,68	2,70	-
-----Ds (g cm ³) -----				
0,0 – 0,05	1,11 c	1,48 b	1,67 a	4,81
0,05 – 0,10	1,39 a	1,38 a	1,56 a	6,62

0,10 – 0,20	1,29 b	1,57 a	1,44 a	3,89
-----Pt (cm ³ cm ⁻³) -----				
0,0 – 0,05	0,54 a	0,42 b	0,36 b	5,82
0,05 – 0,10	0,46 a	0,49 a	0,40 a	8,42
0,10 – 0,20	0,52 a	0,42 b	0,47 ab	4,54

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas, dentro de cada camada e tratamento, não diferem significativamente entre si, pelo teste de tukey (p<0,05).

¹ COA = Cultivo orgânico de amora

² MNT = Mata nativa

³ SAS = Sucessão alho-soja

6.1.3 Densidade de partículas, densidade do solo e porosidade total

Em relação à densidade de partículas, cabe salientar que, para este atributo – diferentemente dos demais – não foi feita a análise estatística dos resultados. Assim, com base somente nos valores encontrados, observa-se que nos tratamentos COA e SAS, estes foram iguais nas três camadas de solo avaliadas (Tabela 2). Já a MTN revelou valores numericamente superiores aos demais tratamentos nas duas primeiras camadas e valor inferior na terceira (0,10-0,20 m). A Dp é a relação existente entre a massa de uma amostra de solo e o volume ocupado por suas partículas, sem considerar a porosidade. Ou seja: é a massa que a fase sólida de determinado solo apresenta em um dado volume. As informações referentes à Dp são consideradas de grande importância para estudos sobre caracterização do solo (Embrapa, 2004). As partículas do solo variam em sua composição e, por isso, em sua densidade. Dentre os minerais constituintes do solo, há alguns mais leves e outros mais pesados. Além disso, a matéria orgânica é mais leve que os minerais (GALETI, 1973 apud EMBRAPA, 2004). Então, com base apenas no teor de COT, seria esperada uma menor Dp para MTN na camada 1, já que aí este tratamento revelou valor muito superior aos demais para COT (Tabela 2). No entanto, MTN apresentou teores superiores para areia e inferiores para argila, em todas as camadas avaliadas (Tabela 1). Isto demonstra que a influência da diferente composição mineralógica (responsável pelas diferenças de granulometria, em solos sob o mesmo regime climático) sobrepujou o efeito do COT em relação à Dp, neste caso.

No que se refere à densidade do solo (Ds), quando se compara COA com os demais tratamentos, os resultados revelam um padrão de comportamento semelhante nas camadas 1 e 3, onde este solo apresentou os menores valores. Na camada 2 não houve diferença estatística

entre os tratamentos para Ds (Tabela 2). Esta constatação reforça a hipótese de recuperação da QS quanto a atributos físicos, obtida pelo solo em COA, apontando para sua capacidade de resiliência. Na verdade, este tratamento superou não só a SAS, como seria esperado tendo em vista o manejo intensivo utilizado neste solo, mas também a MTN, ecossistema clímax climático da região de estudo (PILLAR et al., 2009), cujo solo não recebe nenhuma intervenção antrópica (salvo a eventual entrada de pessoas na área). Portanto, pode-se afirmar que o sistema de manejo conservacionista do solo estabelecido em COA há seis anos mostrou-se bastante eficaz para redução da Ds nas camadas 1 e 3. Na camada 2, embora não tenha havido diferença estatística entre os tratamentos, COA e MTN apresentaram valores praticamente iguais, enquanto em SAS verificou-se um valor numericamente superior (Tabela 2). Por outro, SAS manteve a tendência para valores mais elevados de Ds nas três camadas de solo avaliadas: na primeira, superou estatisticamente aos demais tratamentos e na última, superou a COA, igualando-se a MTN. Na camada 2, o maior valor apresentado por SAS para Ds não alcançou diferença estatística, como relatado.

Tomando-se por base somente os teores de COT, seria esperado que a MTN apresentasse a menor Ds na profundidade 1, uma vez que o valor encontrado para COT neste tratamento, na camada superficial, mostrou-se consistentemente superior aos demais. Altos teores de MOS colaboram para a redução da Ds (PRIMAVESI, 2002; FANG et al., 2015). Apesar disso, o solo de COA, mesmo com teor menor de COT, apresentou Ds inferior ao da MTN na camada mais superficial. Isto realça ainda mais a recuperação da QS apresentada pelo solo de COA, já que Ds é um importante indicador da qualidade física do solo (ALBUQUERQUE et. al., 2005). Por outro lado, a textura encontrada na camada 1 da MTN revelou tratar-se este de um solo franco (Tabela 1), com teor de argila bem inferior aos demais tratamentos (ambos com solos argilosos), e teores de silte e areia bem superiores. Solos francos tendem a apresentar uma Ds superior aos solos argilosos, em virtude da alta (micro)porosidade apresentada pela argila, o que ajudaria a explicar a relação entre os resultados de COA e MTN para Ds na camada 1.

Entretanto, como explicar a relação existente entre os resultados para Ds de MTN e SAS, nesta mesma camada? O tratamento SAS revelou-se o solo com maiores teores de argila entre todos os tratamentos (Tabela 1). Ainda assim, apresentou Ds superior a do solo da MTN, apesar deste último ser um solo franco. A explicação para tais resultados – aparentemente confrontantes com o que seria esperado – passa necessariamente pelo elevado teor de COT encontrado na MTN nesta camada de solo, assim como pelo manejo aplicado ao solo em SAS nos últimos sete anos, com frequentes e intensos revolvimentos, que destroem a

estrutura natural do solo e tendem a elevar os valores de Ds (Albuquerque et al., 2005). Ou seja: a influência do sistema de manejo deletério (em SAS), somada ao elevado teor de COT (na MTN), foi capaz de sobrepujar a influência da própria textura do solo na determinação da Ds.

O tratamento SAS apresentou os maiores valores para Ds em todas as camadas estudadas (não somente na camada 1). Como destacado, este solo foi onde se encontrou os teores de argila mais elevados (Tabela 1), bem como valores importantes de COT (Tabela 2), ambos fatores que influenciam para baixo os valores de Ds. Estas observações chamam a atenção para os efeitos nocivos do sistema de manejo com intenso revolvimento, adotado neste tratamento, sobre a qualidade do solo, mesmo em presença de fatores naturais favoráveis à manutenção da QS, como o são, neste caso, a textura e o teor de COT.

Os resultados obtidos para porosidade total (Pt) também são apresentados na tabela 2. Assim como ocorreu com a densidade do solo, também quando analisa-se a Pt o tratamento COA apresenta um desempenho geral superior aos demais, na direção da QS. Nas camadas 1 e 3 houve diferença estatística favorável a este tratamento, o que só não ocorreu na camada 2. Levando-se em conta que a porosidade é um atributo importante para a QS (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009), estes resultados indicam uma melhor qualidade do solo em COA, para esta variável. Isto também ocorreu com a Ds, como visto acima. Analisando-se os diferentes tratamentos e camadas de solo, observa-se uma tendência de comportamentos inversos, quando se comparam os resultados de Ds e Pt, o que é esperado. Na camada 2, inclusive, não houve diferença estatística entre os tratamentos para ambos os atributos.

De qualquer modo, se for aceita a premissa de que o solo em COA partiu de uma condição semelhante à de SAS (há seis anos atrás, quando encontrava-se sob manejo idêntico a este tratamento), então sua capacidade de resiliência fica evidenciada no que se refere a importantes atributos físicos, como são Ds e Pt.

6.1.4 Agregação

6.1.4.1 Distribuição das classes de agregados

Em relação à distribuição das classes de agregados, os resultados mostraram uma tendência de aumento nos valores das classes 2, 3 e 4 na medida em que se avaliou maiores profundidades, independentemente do tratamento. Os agregados da classe 1 diminuíram com o aumento da profundidade em todos os tratamentos (Tabela 3). Quando comparados os tratamentos em cada uma das camadas estudadas, verificou-se que os agregados maiores

(classes 1, 2 e 3) não apresentaram diferenças entre os tratamentos, na camada de 0,0-0,05 m. Já na camada de 0,05-0,10 m, agregados da classe 1 estiveram em maior quantidade em SAS, diminuindo em MTN e COA. Nesta camada, os maiores valores da classe 2 foram encontrados em COA e da classe 3 em MTN. O solo em SAS apresentou os maiores valores para estas classes de agregados na camada de 0,10-0,20 m. Estes resultados são analisados mais detalhadamente a seguir.

6.1.4.1.1 Classes de agregados: comparativo entre tratamentos por camada de solo

A Tabela 3 apresenta o comparativo entre os tratamentos por classes de agregados, por camada de solo. Nela, pode-se observar o comportamento do solo de cada tratamento, em cada camada, em relação à distribuição e tamanho dos agregados.

Tabela 3 – Distribuição de agregados por classe de tamanho.

Camada (m)	Tratamento	% de agregados por classe				
		1 (4,76 mm)	2 (2 mm)	3 (1 mm)	4 (0,25 mm)	5 (< 0,25 mm)
		CV 3,25	43,98	30,93	32,67	37,25
0,0 – 0,05	COA ¹	96,24a	1,09a	0,16a	0,24b	2,25 ^a
	MTN ²	96,54a	1,42a	0,30a	0,26b	1,45b
	SAS ³	94,91a	1,35a	0,52a	0,85 ^a	2,34 ^a
0,05 – 0,10	COA	89,10ab	5,25a	1,73b	1,91b	1,99b
	MTN	87,33b	3,88b	1,62a	3,28 ^a	2,87 ^a
	SAS	90,64a	3,42b	1,52b	2,37b	2,03b
0,10 – 0,20	COA	81,67b	7,00a	3,48b	4,41b	3,42 ^a
	MTN	79,86b	7,81 ^a	4,24a	4,91 ^a	3,14 ^a
	SAS	90,58a	3,48b	1,71c	2,34c	1,89b

Fonte: Elaborada pelo autor.

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas, dentro de cada camada, não diferem significativamente entre si, pelo teste de tukey ($p < 0,05$).

¹ COA = Cultivo orgânico de amora

² MNT = Mata nativa

³ SAS = Sucessão alho-soja

Para agregados maiores, das classes 1 e 2, não houve diferença entre os tratamentos na camada de 0,0-0,05 m. Nas demais camadas de solo avaliadas, o solo de COA apresentou as maiores médias, tendo sido igualado apenas pelo solo da MTN na camada de 0,10-0,20 m.

Para agregados da classe 3, ocorreu o mesmo na camada de 0,0-0,05 m, novamente não sendo encontrada diferença entre os tratamentos, enquanto que nas demais camadas, o solo da mata nativa apresentou os valores mais elevados. As médias para agregados da classe 4, na camada mais superficial, foram – diferentemente das anteriores – maiores em SAS. A MTN apresentou a maior média para esta classe de agregados na camada intermediária – de 0,05-0,10 m, sendo que na camada seguinte – de 0,10-0,20 m – os resultados, em ordem decrescente, ficaram com os tratamentos MTN, COA e, por último, SAS. Por fim, em relação aos agregados da classe 5, sua distribuição teve resultados inversos nas camadas de 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m: enquanto na primeira os maiores valores foram encontrados em SAS e COA e os menores em MTN, na segunda camada foi a mata nativa que apresentou os maiores valores, ficando a sucessão alho-soja e o cultivo orgânico de amora com os menores.

6.1.4.1.2 Classes de agregados por tratamento

No solo de SAS observou-se que a agregados da classe 1 diminuíram com o aumento da profundidade (o que ocorreu em todos os tratamentos), enquanto que agregados das classes 2, 3 e 4 apresentaram valores maiores nas camadas de 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m, e menores na camada superficial – 0,0-0,05 m. Já na área de MTN, os agregados do solo da classe 2, 3 e 4 aumentaram com a profundidade. O solo em COA apresentou o mesmo comportamento que o da MTN com relação aos agregados das classes 2, 3 e 4, cujos valores aumentaram com a profundidade.

Os resultados mostram que os agregados das classes 1, 2, 3 e 4 tiveram aumento, quanto maior a profundidade da camada estudada, em todos os tratamentos. Este fato coincidiu com o aumento do percentual de argila em profundidade no perfil do solo, o que pode ajudar a explicar os dados, já que a argila tem maior poder de floculação e agregação que areia e silte, que, por sua vez, diminuíram com o aumento da profundidade, conforme observado pela análise granulométrica.

Em relação aos agregados menores, da classe 5, embora tenha sido possível observar também uma tendência de aumento dos valores quanto maior a profundidade no solo da MTN, nos demais tratamentos isto não ocorreu, diferenciando esta classe de agregados das demais quanto à sua distribuição nas diferentes camadas estudadas.

6.1.4.2 Diâmetro médio geométrico de agregados (DMG)

Os resultados referentes a diâmetro médio geométrico de agregados são apresentados na Tabela 3. Mostram que, na camada 1, MTN apresentou o maior diâmetro médio geométrico de agregados. Esta maior agregação observada na mata nativa pode ser explicada pelo elevado teor de MOS na camada superficial, acumulada ao longo dos anos (BAYER; MIELNICZUK, 2008; ASSIS; LANÇAS, 2010; FANG et al., 2015) confirmado pela elevada quantidade de COT, como demonstrado na Tabela 2. A matéria orgânica é responsável por estabilizar os agregados do solo devido à sua maior área superficial específica (ASE) e capacidade de troca de íons, possibilitando maior número de ligações eletrostáticas entre as partículas do solo (ANGERS, 1992 apud ASSIS; LANÇAS, 2010). Lacerda et al. (2005), também comparando solo de mata nativa com o de preparo convencional (com revolvimento), observaram que o diâmetro médio de agregados foi maior no primeiro (ASSIS; LANÇAS, 2010).

Tabela 4 – Comparativo entre os tratamentos para Diâmetro Médio Geométrico (DMG), por camada de solo.

Tratamento	Camada de solo (m)			CV%
	0,0 – 0,05	0,05 – 0,10	0,10 – 0,20	
	-----DMG (mm) -----			
COA ¹	4,30ab	3,91 ^a	3,40b	5,23
MTN ²	4,40 ^a	3,76b	3,35b	5,23
SAS ³	4,18b	3,93 ^a	3,94a	5,23

Fonte: Elaborada pelo autor.

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas, dentro de cada camada, não diferem significativamente entre si, pelo teste de tukey ($p < 0,05$).

¹ COA = Cultivo orgânico de amora

² MNT = Mata nativa

³ SAS = Sucessão alho-soja

Entretanto, quando os tratamentos foram comparados em relação à camada 2 (0,05-0,10 m), observou-se uma situação antagônica àquela verificada na camada 1: agora, os tratamentos COA e SAS apresentaram diâmetro médio geométrico de agregados maior que o tratamento MTN. Este comportamento observado no solo da mata nativa coincide com um menor teor de COT encontrado na camada 2 em comparação com a 1, o que pode explicar, em parte, este fato (ASSIS; LANÇAS, 2010; FANG et al., 2015).

Na camada 3 (0,10-0,20 m), SAS apresentou os valores mais elevados para diâmetro de agregados, comparativamente aos demais tratamentos. Neste caso, o solo na camada 3

(assim como nas demais camadas) foi atingido pelas operações de subsolagem e gradagens (grades aradora e niveladora), e também pela encanteiradeira, cujas enxadas-rotativas atingem profundidades até superiores aos 20 cm – limite de profundidade do presente estudo. Desse modo, percebe-se que o solo sofreu repetidos e diferentes revolvimentos. As enxadas-rotativas, sobretudo, revolvem o solo de forma intensa, misturando parcialmente as diferentes camadas no perfil do solo. Este equipamento é utilizado visando, além da confecção dos canteiros, o destorroamento do solo para facilitar o plantio do alho, o que acaba ocasionando a pulverização do solo e, conseqüentemente, sua degradação física, química e biológica (LOSS et al., 2015). Assim, a princípio, seria esperada menor agregação em comparação aos demais tratamentos, onde não houve revolvimento, como observado por Hickmann et al. (2011); Assis e Lanças (2010) e Bertol et al. (2010), já que o revolvimento do solo reduz a estabilidade de agregados (SILVA et al., 2014), principalmente dos macroagregados (ALBUQUERQUE et al., 2005).

Desta forma, como explicar os resultados encontrados para a camada 3 (0,10-0,20 m)? O diâmetro dos agregados (DMG) normalmente representa a resistência do solo à desagregação, podendo indicar o grau de suscetibilidade à erosão hídrica (Forsythe, 1975). No entanto, agregados com diâmetro elevado nem sempre apresentam adequada distribuição de tamanho de poros internos, que está ligada à qualidade estrutural do solo. Assim, é possível obter agregados de elevado DMG, compactos e de baixa porosidade, que dificultam a penetração de raízes e a infiltração da água (BERTOL; SANTOS, 1995). Isto ajuda a explicar os resultados aparentemente contraditórios do tratamento SAS, no que diz respeito ao DMG na camada 3 e os valores de taxa de infiltração (Figuras 10,11 e 12 e tabela 7). A D_s mais elevada encontrada em SAS (exceto em comparação à MTN, na camada de 0,10-0,20 m) pode indicar um adensamento dos agregados, em função da compactação do solo, tornando-os mais “duros” e resistentes à ação desagregadora da água. Esta observação das interações entre os atributos avaliados proporciona um olhar mais completo sobre os resultados encontrados, conforme a abordagem sistêmica proposta para este estudo.

Albuquerque et al. (1996 apud ALBUQUERQUE et al., 2005) ressaltam que o efeito deletério do revolvimento do solo sobre a estabilidade de agregados é mais evidente em solos arenosos. Como o solo da sucessão alho-soja mostrou ser argiloso, apresentando os maiores teores de argila entre os três tratamentos, para todas as camadas avaliadas (vide resultados de textura – tabela 1), isto explicaria, em parte, a estabilidade de agregados superior que apresentou, mesmo sob manejo com intensos revolvimentos. A argila, pela maior área

superficial específica e maior reatividade, proporciona melhor estabilidade de agregados ao solo (SILVA et al., 2014). A maior presença de argila contribui para aumentar a aproximação das partículas do solo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011). Por outro lado, horizontes arenosos dificultam a proteção física da matéria orgânica, prejudicando a formação de agregados (SANTOS et al., 2011 apud SILVA et al., 2014). Além disso, as ligações entre a MOS e a fase mineral também são favorecidas em solos argilosos (LEHMANN; KLEBER, 2015). Segundo Hillel et al. (1980 apud BASTOS et al., 2005), para a formação do agregado, é necessário que os colóides do solo encontrem-se floculados e que todos os componentes do agregado sejam posteriormente estabilizados por algum agente cimentante. Neste sentido, a matéria orgânica exerce grande influência no processo de formação e estabilização dos agregados (SILVA; MIELNICZUK, 1997 apud SILVA et al., 2014; VEZZANI; MIELNICZUK, 2011), pois apresenta ação cimentante (FONTANA et al., 2010; PORTUGAL et al., 2010 apud SILVA et al., 2014).

Outro fator que pode ajudar a explicar os resultados encontrados refere-se à umidade do solo no momento da mobilização por implemento agrícola. No caso específico da enxada-rotativa – utilizada no preparo dos canteiros para o plantio de alho em SAS – se, por um lado, sua utilização com o solo demasiadamente seco pode levar à pulverização do solo (LOSS et al., 2015), por outro, em um solo saturado de água pode chegar a destruir agregados, comprometendo a estrutura do solo (SEIXAS, 1988 apud SILVA FILHO, 2015). Operações de preparo do solo realizadas com a umidade acima do ponto de friabilidade podem causar deformações plásticas danosas ao solo (MAZURANA et al., 2011). De acordo com o histórico da área, sempre tomou-se o cuidado para que a umidade do solo estivesse próxima do ideal (friável, em capacidade de campo), no momento da sua mobilização pela enxada rotativa. Este deve ter sido um fator decisivo para os resultados encontrados em termos de agregação.

6.1.4.3 Índice de estabilidade de agregados – IEA

Os resultados encontrados para IEA proporcionam um comparativo entre os tratamentos, nas diferentes camadas de solo (Tabela 5). Assim, na camada mais superficial (profundidade 1), não houve diferença estatística entre os tratamentos, enquanto que na camada 2 o IEA foi igual em COA e SAS, e menor na MTN. Na camada 3, o valor do IEA decresceu na seguinte ordem: SAS, COA, MTN.

Na análise por tratamento, tanto em COA quanto na MTN, os valores de IEA decresceram com o aumento da profundidade. Já em SAS, isto aconteceu até a camada 2, voltando a crescer na camada 3.

Tabela 5 – Índice de estabilidade de agregados (IEA).

Tratamento	Camada de solo (m)			CV%
	0,0 – 0,05	0,05 – 0,10	0,10 – 0,20	
	----- IEA -----			
COA ¹	99,00a	94,23 ^a	88,95b	4,14
MTN ²	98,31a	89,49b	86,24c	4,14
SAS ³	97,50a	94,51 ^a	95,24 ^a	4,14

Fonte: Elaborada pelo autor.

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas, dentro de cada camada, não diferem significativamente entre si, pelo teste de tukey ($p < 0,05$).

¹ COA = Cultivo orgânico de amora

² MNT = Mata nativa

³ SAS = Sucessão alho-soja

6.1.5 Infiltração

Por ser um atributo eminentemente funcional do solo, a infiltração teve papel central neste trabalho, uma vez que tanto o conceito de resiliência (SEYBOLD et al., 1999) quanto o de qualidade do solo (DORAN; PARKIN, 1994) enfatizam a importância do bom funcionamento do solo. De fato, os atributos estruturais servem para, em conjunto, possibilitar ao solo desempenhar suas funções. Conforme Bertol (2000a), a infiltração de água pode ser considerada a propriedade que melhor reflete as condições físicas do solo, sua qualidade e estabilidade estrutural.

A umidade gravimétrica do solo na camada de solo de 0,0-0,20 m (média das três repetições), coletado imediatamente antes de iniciar a medida de infiltração, em cada tratamento, é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 – Umidade gravimétrica do solo (UG) na camada de solo de 0,0 – 0,20m no momento da realização do teste de infiltração. Média das três repetições em cada tratamento.

Tratamento	UG (g g⁻¹)
COA¹	0,26
MTN²	0,28
SAS³	0,32

Fonte: Elaborada pelo autor.

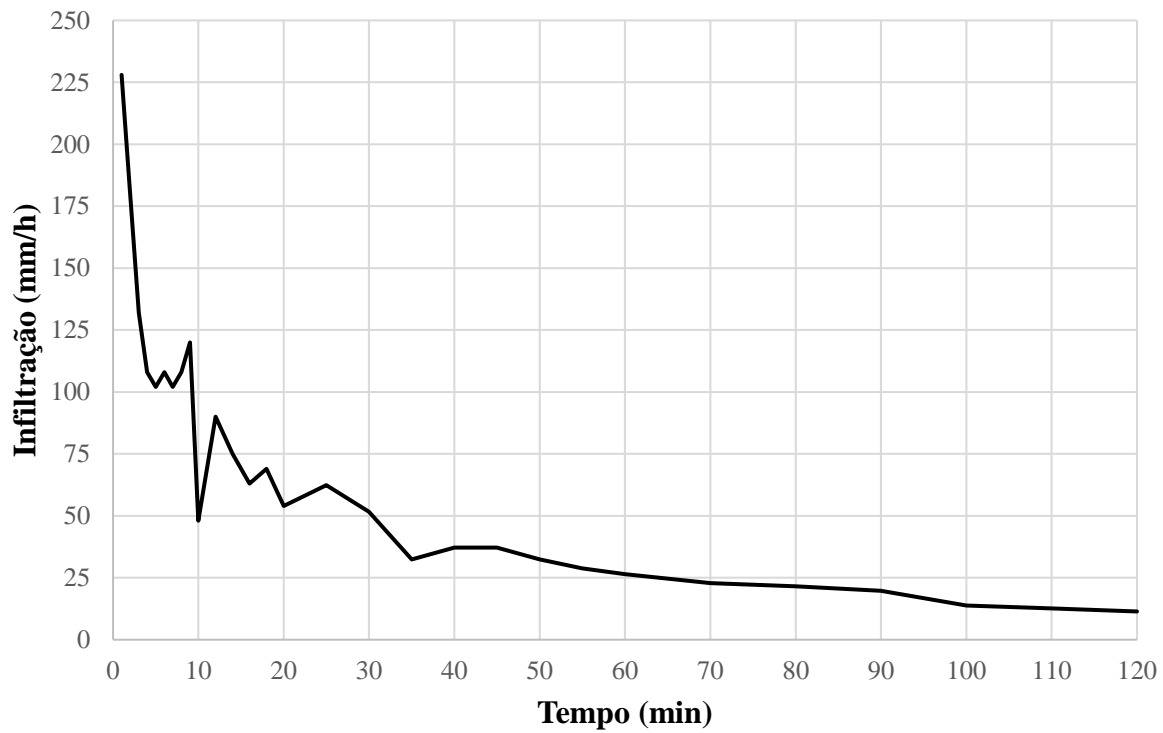
¹ COA = Cultivo orgânico de amora

² MNT = Mata nativa

³ SAS = Sucessão alho-soja

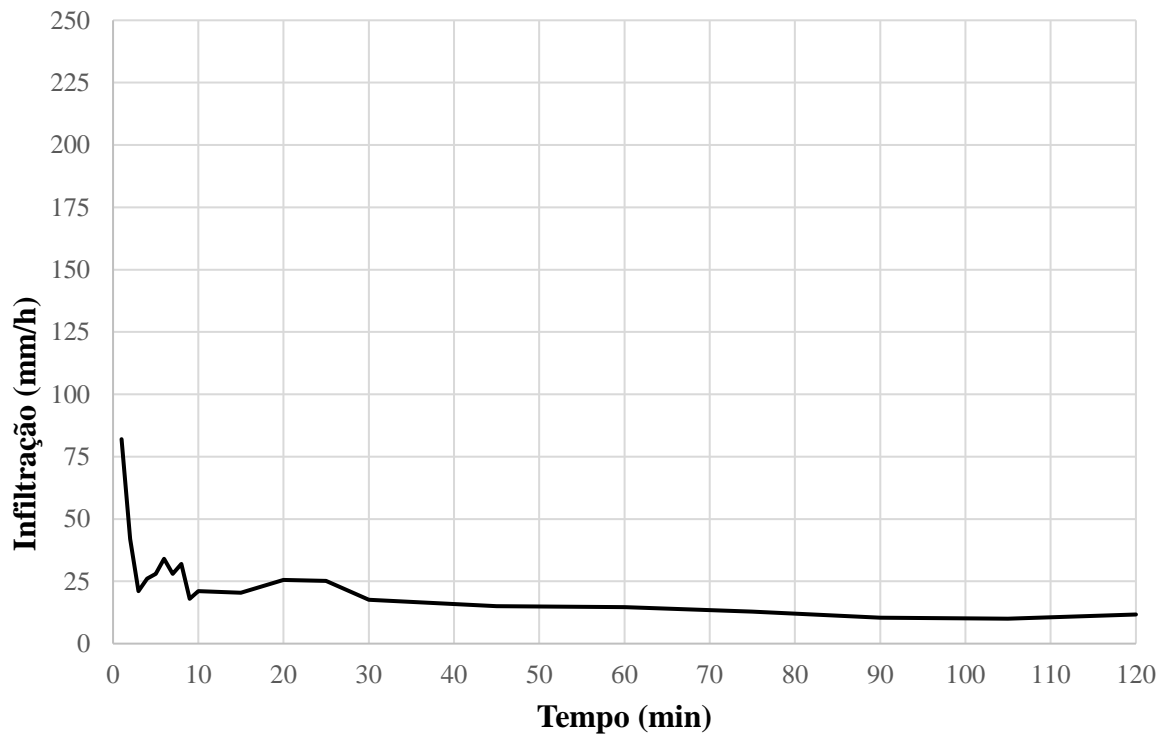
Os resultados encontrados para taxa e para capacidade de infiltração são apresentados nas figuras 10, 11 e 12, onde podem ser comparados os comportamentos apresentados por cada tratamento, que mostra os valores tomados em tempos específicos, para facilitar a comparação. O desempenho do solo em COA para este atributo foi destacadamente superior aos demais, apresentando taxas bastante elevadas de infiltração, com 228 mm/h no primeiro minuto, 108 mm/h aos 10 minutos, 52 mm/h aos 30 minutos, 26 mm/h aos 60 minutos e 20 mm/h aos 90 minutos. Também a capacidade de infiltração, que revela o valor final constante da taxa de entrada de água no solo (BERTOL et al., 2015), foi superior neste tratamento, ficando ao redor de 12 mm/h.

Figura 10 – Taxa de infiltração de água no tratamento Cultivo orgânico de amora (COA).



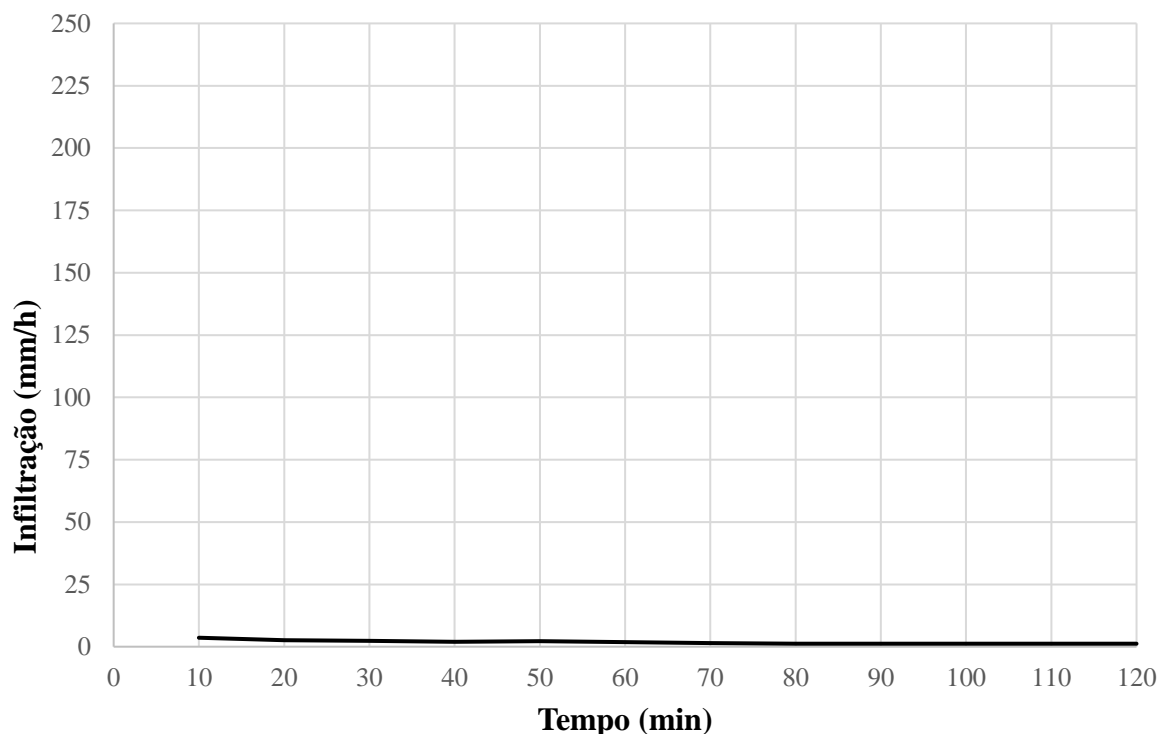
Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados coletados.

Figura 11 – Taxa de infiltração de água no tratamento Mata Nativa (MTN).



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados coletados.

Figura 12 – Taxa de infiltração de água no tratamento Sucessão alho-soja (SAS).



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados coletados.

A MTN apresentou valores intermediários para infiltração, ficando abaixo de COA e acima de SAS. Este resultado, a princípio, contraria a expectativa gerada pela revisão da literatura, que majoritariamente aponta a mata nativa como apresentando a melhor taxa de infiltração entre os tratamentos avaliados. Exemplo disso é oferecido por Santos et al. (2013). Trabalhando em um solo bastante semelhante ao do presente estudo (naquele caso, um Nitossolo Bruno do Planalto Sul-Catarinense), os autores avaliaram a capacidade de infiltração de água em diferentes modalidades de uso: a) Floresta Ombrófila Mista (mesma avaliada nesta pesquisa); b) povoamento de Pinus; c) campo natural queimado bianualmente e pastejado; d) integração lavoura-pecuária. Também neste trabalho, a infiltração foi determinada diretamente no campo, pelo método dos anéis concêntricos, com observação por duas horas. Verificaram-se diferenças acentuadas nos parâmetros hidrológicos, sendo que a floresta nativa teve os maiores valores para taxa de infiltração, seguida pelo povoamento de Pinus. Os demais tratamentos tiveram redução drástica nos valores observados. Os resultados demonstraram que a capacidade de infiltração de água no solo foi menor onde as atividades antrópicas foram exercidas com maior intensidade (SANTOS et al, 2013).

Os teores de silte encontrados no solo da MTN foram bem superiores àqueles encontrados nos demais tratamentos (tabela 1). O silte pode causar obstrução dos poros do

solo, reduzindo sua capacidade de infiltração de água, o que ajuda a explicar a menor taxa de infiltração na mata nativa em relação a COA.

Segundo Oliveira (2012) a infiltração na mata nativa se dá de modo particular e específico, em função da presença das árvores. Neste ecossistema, fenômenos como a interceptação e escoamento de tronco (Et) determinam a quantidade de água da chuva que chegará efetivamente ao solo e também como chegará. A interceptação é o processo pelo qual a água da chuva é temporariamente retida pelas copas das árvores, sendo posteriormente redistribuída na forma de gotas até o solo, escorrendo pelos troncos das árvores, ou evaporando antes de atingi-lo. Pelo processo de interceptação, a floresta desempenha importante papel na distribuição de energia e de água à superfície do solo, afetando a distribuição temporal e espacial da chuva que atinge sua copa, e diminuindo a quantidade de água da chuva que chega efetivamente ao solo. O escoamento pelo tronco (Et) é a porção da chuva que, interceptada pela cobertura florestal, chega até o piso do bosque deslizando pelo fuste das árvores. Cerca de 60% do volume de água que infiltra no solo se dá junto às árvores, sendo resultado do Et.

No presente estudo, a medida de infiltração feita com o uso de anéis concêntricos (conforme descrito em Material e Métodos) não foi tomada junto aos troncos das árvores, até pelo impedimento físico à instalação dos anéis causada pelas raízes mais grossas ali existentes. Com base nas afirmações de Oliveira (2012), podemos concluir então que os locais onde foi medida a infiltração na MTN não coincidem com os sítios onde ocorre a infiltração dos maiores volumes de água, durante as chuvas naturais (junto aos troncos, em função do Et, como descrito acima). Sendo assim, os valores encontrados podem estar subestimados. Se isso for verdade, então a taxa e a capacidade de infiltração na MTN podem não ser tão inferiores às aquelas encontradas em COA, ou nem mesmo ser inferiores, o que posicionaria os resultados mais próximos aos reportados pela literatura. Neste caso, a metodologia utilizada não teria sido a ideal para a medida correta da infiltração em ambiente de floresta (caso do tratamento MTN).

De qualquer modo, a ação antrópica representada pelo manejo conservacionista, em COA, permitiu a este solo alcançar excelentes resultados para infiltração. Isso com (somente) seis anos de “janela de tempo” para manifestar sua resiliência, já que antes deste período esteve sob manejo com intenso revolvimento, nos mesmos moldes em que se encontra SAS, na atualidade. Por sinal, justamente em SAS foram encontrados os valores mais baixos, tanto para taxa, quanto para capacidade de infiltração, como se pode ver no gráfico (figura 12) e na Tabela 7. Este comportamento reflete os efeitos deletérios para a infiltração e, portanto, para

QS, do manejo com intenso revolvimento adotado. A destruição da estrutura natural do solo pelos implementos causou um severo comprometimento de seu funcionamento hidráulico, como mostram os números. Esta situação atual do solo em SAS serve como referência para que se possa ter uma ideia quanto ao estado em que se encontrava o solo em COA no passado, quando sofria manejo idêntico, como relatado. E isto durante cinco anos em que se cultivou alho naquela área. A tomada de decisão quanto ao manejo de solo a ser utilizado pode redundar, portanto, em impactos muito benéficos ou muito maléficos para capacidade de infiltração e para a qualidade do solo, como um todo.

Chamou a atenção, na observação dos resultados, a magnitude das diferenças encontradas na comparação entre os tratamentos, sobretudo entre os resultados de COA e SAS. Se forem tomadas, por exemplo, as taxas de infiltração apenas em tempos específicos da medição, este fato já fica explícito, como mostra a Tabela 7.

Tabela 7 – Taxa de infiltração de água no solo para cada tratamento, em tempos específicos.

Tempo (min.)	Tratamento	Taxa de Infiltração* (mm/h)
1	COA ¹	228
	MTN ²	86
	SAS ³	4
10	COA	108
	MTN	21
	SAS	3,6
30	COA	52
	MTN	17,6
	SAS	2,4
60	COA	26
	MTN	14,6
	SAS	1,8
90	COA	20
	MTN	10,4
	SAS	1,2
120	COA	12
	MTN	11,7
	SAS	1,2

Fonte: Elaborada pelo autor.

*Média de três repetições.

¹ COA = Cultivo orgânico de amora

² MNT = Mata nativa

³ SAS = Sucessão alho-soja

No início da medição (minuto um), verificou-se uma taxa de infiltração em COA superior a 220 mm, contra 86 mm/h na MTN e 4 mm em SAS. Na medida em que o tempo de observação foi passando e mais leituras foram sendo feitas, a magnitude da diferença entre os tratamentos foi-se reduzindo. Mesmo assim, nota-se que a diferença manteve-se grande. Somente ao final de duas horas de leituras é que os valores de COA e MTN aproximaram-se mais, o que não ocorreu com SAS. Este último tratamento apresentou ainda, ao final de 180 minutos, uma taxa de infiltração de apenas 1 mm/h. Para informação adicional em SAS, esperou-se ainda por mais um intervalo, desta vez de 135 minutos (total: 315 minutos de

observação): a taxa de infiltração continuava em 1 mm/h, o que significa que esta é a capacidade de infiltração deste solo, por ter-se o valor tornado constante (BERTOL et al., 2015). Nos tratamentos COA e MTN, a estabilização final da taxa de infiltração aponta para uma capacidade de infiltração ao redor de 12 mm/h, em ambos os tratamentos.

Como já destacado, a infiltração pode ser considerada a propriedade que melhor reflete as condições físicas do solo, sua qualidade e estabilidade estrutural (BERTOL, 2000a). Deste modo, os resultados encontrados para infiltração de água no solo constituem a prova mais consistente para respaldar duas afirmações: primeiro, de que o manejo com revolvimento intensivo, como o aplicado em SAS no presente, e em COA no pretérito, prejudica de modo bastante pronunciado o funcionamento hidráulico do solo. Segundo, de que houve uma recuperação igualmente pronunciada do funcionamento hidráulico do solo em COA, que possibilitou a este superar, de modo consistente, inclusive a MTN, ecossistema clímax climático da região (Pillar et. al., 2009) e referência para qualidade física do solo (em que pese algum grau de antropização sofrido). Este fato explicita a realidade da resiliência apresentada pelo solo em COA, a partir do momento em que teve oportunidade para isso, com o cessamento dos distúrbios e a manutenção de sua superfície permanentemente coberta, tanto por plantas vivas, quanto por resíduos vegetais. Isto durante seis anos, no caso desta pesquisa.

6.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS

6.2.1 pH

Ao serem comparados os três tratamentos quanto aos resultados encontrados para pH, nota-se que os valores vêm ao encontro do histórico das áreas de cada tratamento (Tabela 8). Assim, na mata nativa, onde jamais houve aplicação de corretivos, foram encontrados os menores valores, em todas as camadas avaliadas. No outro extremo, o solo do tratamento COA apresentou os maiores valores de pH, sendo igualado pelo tratamento SAS apenas na camada de 0,10-0,20 m. O solo do tratamento COA foi, na verdade, o único onde foram encontrados valores de pH acima de 6,0 nas primeiras duas camadas (6,39 e 6,27, na primeira e segunda camadas, respectivamente). Embora tanto o solo em COA quanto em SAS sejam de áreas cultivadas e, por isso, corrigidas há mais de 20 anos, a partir de 2011 as calagens em COA foram feitas em superfície, diferentemente de SAS, onde o calcário foi sempre incorporado, para o plantio do alho. No histórico mais recente (2014) houve aplicação em superfície de calcário calcítico no tratamento COA, no inverno de 2014, logo antes do plantio

da amora. Estas aplicações em superfície podem explicar o pH mais elevado nas camadas mais superficiais em comparação com a mais profunda e também com os demais tratamentos.

Quando se observa o comportamento do pH por camada de solo, em cada tratamento, mais uma vez os resultados são amparados pelo histórico das áreas. Em COA, por exemplo, encontramos diferenças nos valores de pH para cada camada de solo estudada, decrescendo com o aumento da profundidade, em acordo com o histórico destacado acima. Enquanto isso, no solo da mata nativa, os baixos valores de pH encontrados (todos abaixo de 5,0) tiveram pequena variação, sendo o solo na camada superficial, de 0-5 cm, levemente mais ácido que nas demais profundidades. No tratamento SAS, os valores de pH foram iguais para as duas primeiras profundidades, com leve redução na terceira. Embora se trate de um solo corrigido, em nenhuma profundidade o pH atingiu ou superou o valor de 6,0, como observado no tratamento COA (Tabela 10).

Tabela 8 – Comparativo entre os tratamentos para os atributos químicos do solo: pH, Al^{+3} , Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^{+1} .

Camada (m)	Tratamento			CV (%)
	COA ¹	MNT ²	SAS ³	
-----pH -----				
0,0 – 0,05	6,39a	4,50c	5,93b	1,85
0,05 – 0,10	6,27a	4,68c	5,94b	1,85
0,10 – 0,20	5,86a	4,65b	5,82a	1,85
-----Al ⁺³ (cmolc Kg ⁻¹) -----				
0,0 – 0,05	0,00c	1,97a	0,45b	4,83
0,05 – 0,10	0,97b	3,21a	0,46c	4,83
0,10 – 0,20	1,72b	4,04a	0,65c	4,83
-----Ca ⁺² (cmolc Kg ⁻¹)-----				
0,0 – 0,05	8,81a	5,41c	8,07b	6,79
0,05 – 0,10	6,67b	2,15c	7,75a	6,79
0,10 – 0,20	4,20b	1,53c	6,29a	6,79
-----Mg ⁺² (cmolc Kg ⁻¹)-----				
0,0 – 0,05	3,97a	2,84c	3,46b	14,46
0,05 – 0,10	3,35a	1,65b	3,27a	14,46
0,10 – 0,20	3,25b	1,60c	3,72a	14,46

----- K ⁺ (cmolc Kg ⁻¹)-----				
0,0 – 0,05	0,59b	0,31c	0,96a	13,34
0,05 – 0,10	0,22b	0,10c	0,84a	13,34
0,10 – 0,20	0,14b	0,08c	0,63a	13,34
Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas, dentro de cada camada, não diferem significativamente entre si, pelo teste de tukey (p<0,05).				
¹ COA = Cultivo orgânico de amora				
² MNT = Mata nativa				
³ SAS = Sucessão alho-soja				

6.2.2 Alumínio

Os resultados encontrados para Al, assim como outros já discutidos, traduzem também o histórico das áreas com os tratamentos estudados. Assim, os valores mais elevados de Al, em todas as camadas avaliadas, foram encontrados no solo da mata nativa, o que já era esperado, tendo em vista que nos demais tratamentos tem-se solos corrigidos para esta característica. Os resultados são apresentados na Tabela 8.

O cultivo orgânico de amora foi o tratamento onde o solo apresentou o menor valor para Al na camada 0,0-0,05 m, confirmando as expectativas, em função da aplicação de calcário calcítico em superfície já mencionada, uma vez que nesta região o calcário desloca-se em profundidade no perfil apenas cerca de 1 cm por ano (ERNANI, 2016). Nas camadas seguintes, de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, os menores valores foram encontrados na sucessão alho-soja, sendo este resultado coerente com um solo bem corrigido, onde as aplicações de calcário foram sempre incorporadas a 20 cm, também com o objetivo de reduzir/eliminar o Al em toda a “camada arável”. Além disso, este tratamento recebeu aplicação de calcário dolomítico incorporado em 2016, na dosagem de 5 toneladas por hectare, como relatado em Material e Métodos, o que certamente contribuiu ainda mais para este resultado.

Na comparação entre as camadas de solo para valores de Al, dentro de cada tratamento (Tabela 15), observou-se o seguinte: o único solo revolvido (SAS) apresentou valores iguais nas duas primeiras camadas, diferindo apenas na terceira; os solos dos dois tratamentos sem revolvimento (MTN e COA) apresentaram claramente um aumento gradativo nos valores de Al, conforme aumentou a profundidade avaliada. No caso de COA, as principais razões para isso já foram apontadas (calagem em superfície). Em ambos os tratamentos, no entanto, verifica-se um outro fator: a elevação dos valores de Al acompanha a redução dos valores de carbono orgânico em maiores profundidades, com consequente redução do teor de MOS, o que leva à diminuição da capacidade do solo em complexar o Al.

6.2.3 Cálcio

As análises para medir as concentrações de cálcio também proporcionaram resultados coerentes com o histórico das áreas, podendo ser observados na Tabela 8. O solo da MTN que, como se sabe, jamais recebeu corretivos, apresentou comportamento inverso ao observado para Al: os menores valores para Ca entre os tratamentos, nas três camadas analisadas. No solo da mata nativa, observa-se ainda que os valores de Ca são maiores, quanto mais a camada analisada se aproxima da superfície. Isto se deve ao constante aporte deste e de outros nutrientes devido à ciclagem proporcionada pelo constante aporte de fitomassa, que compõe a serrapilheira. O solo do COA, por sua vez, revelou a maior concentração de cálcio entre os tratamentos na camada superficial, confirmando, mais uma vez, ter recebido calcário calcítico em superfície há apenas 3 anos, como relatado. O solo da SAS foi o que apresentou os valores mais altos para Ca entre os tratamentos, nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, refletindo a incorporação do calcário neste solo, sempre que aplicado.

As concentrações de Ca no solo, em relação às camadas avaliadas, seguiram o mesmo padrão de comportamento nos três tratamentos, com os valores decrescendo com o aumento da profundidade.

6.2.4 Magnésio

Observando-se os resultados encontrados em cada profundidade (Tabela 8), nota-se que as concentrações de Mg na camada 1 (0,0-0,05 m) decresceram na seguinte ordem: COA, SAS e MTN, o que vem ao encontro de quais solos sofreram ou não correção com calcário. Exceto na última calagem em COA, sempre se utilizou calcário dolomítico nesta área e em SAS, o que contribuiu para os maiores valores de Mg destes tratamentos em relação à MTN. Como visto para cálcio, também para Mg o constante aporte de fitomassa de plantas de cobertura em COA ajudam a explicar o maior valor encontrado na camada superficial, decrescendo em profundidade. Na camada 2 (0,05-0,10 m) novamente o solo da mata nativa apresentou os menores valores para Mg, sendo que os solos dos outros dois tratamentos não apresentaram diferença estatística entre si. Os resultados na camada 3 (0,10-0,20 m) revelaram as maiores concentrações de Mg em SAS, seguido por COA e, por último, MTN.

6.2.5 Potássio

Quando se compara as concentrações de K observadas nas três camadas de solo avaliadas, identifica-se um padrão: os valores decrescem sempre na mesma ordem, de SAS para COA e então para MTN. A explicação para estes resultados passa pelas adubações potássicas aplicadas no plantio da soja e, principalmente, no plantio do alho, em SAS (vide histórico da área em Material e Métodos). Os valores maiores de K em COA, em relação à MTN se devem ao fato de que o primeiro recebeu aplicação de remineralizadores ou pós-de-rocha, como são chamados. Além de remineralizadores, COA recebeu aplicações de cama de aviário (peru), conforme descrito em Material e Métodos. Os valores encontrados para teor de K são apresentados na Tabela 8.

O comportamento do solo de cada tratamento para as concentrações de K, quanto às camadas avaliadas, também seguiu um padrão, decrescendo com o aumento de profundidade. Enquanto em SAS e COA o decréscimo ocorreu ao longo das três camadas, na MTN este foi verificado somente na comparação da camada 1 (0,0-0,05 cm) com as demais, que não diferiram entre si.

De qualquer modo, com base nos resultados encontrados para COT e para os demais atributos químicos avaliados, observa-se um padrão apresentado pelo solo da MTN (padrão natural): todos os valores tendem a elevar-se quanto mais a camada avaliada se aproxima da superfície. Conforme já mencionado, este padrão se deve ao constante aporte de fitomassa que ocorre na mata, e que proporciona uma intensa ciclagem de nutrientes, juntamente com o acúmulo de MOS. Este padrão foi seguido em diversos atributos químicos também pelo solo de COA, o que ajuda a comprovar sua resiliência, uma vez que logrou retornar a um padrão de comportamento semelhante ao natural, ao mesmo tempo em que manteve valores agronomicamente desejáveis para todos os atributos avaliados.

6.2.6 Abordagem sistêmica

Cada atributo avaliado no presente estudo constitui uma parte da realidade investigada, em relação à qual a compreensão melhora quando se lança mão de um olhar sistêmico, que permita integrar todos os dados obtidos, transformando-os em informações úteis, que gerem conhecimento. Caso contrário, ter-se-á somente dados isolados, estáticos. Assim, se fossem tomados somente os dados referentes aos atributos químicos, por exemplo, haveria indução ao erro na conclusão sobre qual solo apresenta a melhor condição de funcionamento, seja do ponto de vista agrônomo/produtivo ou ambiental. Os resultados obtidos para teores de

potássio, por exemplo, tomados isoladamente, levariam à conclusão de que o solo de SAS é o que apresenta a melhor QS. Isto é verdade para teores de potássio, porém não para o restante dos atributos; não para a realidade, como um todo, em que os solos se encontram. Isto não quer dizer que o teor de potássio seja menos importante do que qualquer outro atributo, seja ele químico ou físico. Quer dizer apenas que não se pode investigar uma pequena parte da realidade e afirmar que esta é a realidade toda. O método científico constitui uma ferramenta de inestimável valor para investigação da realidade. Porém, caberá ao cientista utilizá-lo de modo adequado, verificando como cada parte investigada funciona na realidade, onde sempre compõe um todo integrado, juntamente com outras partes. O funcionamento da parte isolada, via de regra, não é o mesmo que esta apresenta quando em sua condição natural, integrada à realidade (todo). (Holmgren, 2013). No caso do presente estudo, este cuidado é igualmente imprescindível para compreensão da situação do solo em cada um dos tratamentos e para a comparação entre eles, até onde as informações coletadas o permitam.

Neste sentido, partindo-se dos resultados encontrados para os atributos físicos (estruturais e funcionais) e químicos e procurando compreender como são as inter-relações entre eles, buscou-se a contextualização destes dados de acordo com o histórico de cada área. Objetivou-se, assim, chegar a um melhor entendimento, a partir de um modo integrador de tratar os dados gerados. Com base nesta premissa, a infiltração foi tomada como eixo condutor da pesquisa, por tratar-se de um atributo do solo essencialmente funcional. Ou seja, para que determinado solo de mesma classe que outro (ex.: COA e SAS) apresente uma taxa de infiltração superior à daquele, é necessário que inúmeros atributos estruturais do solo estejam em condições adequadas para permitir este melhor funcionamento. É um somatório de fatores e uma sinergia entre eles que leva ao resultado. Também o COT teve papel preponderante neste estudo, uma vez que a MOS desempenha inúmeras funções no solo, constituindo uma espécie de interface entre os fenômenos químicos, físicos e biológicos que ali têm lugar. Não há como tratar de resiliência sem levar em conta o teor de MOS. Os (demais) atributos químicos avaliados, embora possam não ter uma influência direta sobre a infiltração, constituem parte essencial da QS, como um todo. Por isso, a recuperação da qualidade do solo em COA (resiliência) só pôde ser reconhecida integralmente porque, além de restaurar sua condição física para um funcionamento adequado, este solo apresentou resultados para atributos químicos que permitem este reconhecimento.

7 CONCLUSÃO

O Latossolo Bruno estudado tem capacidade de resiliência, observada após seis anos de manejo conservacionista, com a ocorrência da recuperação da qualidade física necessária para o bom funcionamento do solo.

A taxa de infiltração de água no solo foi a principal indicadora da qualidade física e da recuperação do solo degradado, uma vez que os fluxos de água demonstram a funcionalidade dos poros do solo.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Conforme já destacado, a infiltração de água pode ser considerada a propriedade que melhor reflete as condições físicas do solo, sua qualidade e estabilidade estrutural (Bertol, 2000a). Os resultados encontrados para infiltração revelaram um desempenho ótimo do solo em COA, justamente aquele que foi foco para a investigação da resiliência. Os valores, como visto, foram bem superiores à MTN e à SAS, sendo que este último tratamento apresentou resultados pífios para este atributo, indicando erros graves no sistema de manejo do solo aí empregado. Este contraste verificado entre COA e SAS nos resultados encontrados para infiltração constitui o argumento mais consistente para a comprovação da hipótese de pesquisa, já que, no passado, o solo de COA encontrava-se em manejo idêntico ao que SAS é submetido no presente. Como visto, tratam-se de dois solos com características muito similares do ponto de vista de textura e submetidos ao mesmo regime climático, o que permite supor que o solo de COA encontrava-se, há seis anos atrás, em situação muito semelhante à que o solo de SAS encontra-se hoje. Somente quando o manejo com intenso revolvimento foi descontinuado e passou-se a adotar manejo conservacionista na área de COA é que o solo teve oportunidade para manifestar a sua capacidade de resiliência.

Em relação à SAS, com base na literatura consultada e também em observações visuais precedentes a este estudo, esperava-se resultados piores que os encontrados para atributos físicos estruturais do solo, como estabilidade de agregados, por conta do intenso revolvimento sofrido pelo mesmo durante o preparo dos canteiros para o plantio do alho nos últimos sete anos. As observações visuais dão testemunho de eventos de severa erosão por escoamento superficial, ocorridos durante enxurradas, com perdas de solo evidentes. O que os dados podem estar revelando é o grau de resistência natural deste solo, em virtude de seus elevados teores de argila e MOS, que lhe possibilita manter a qualidade em alguns atributos estruturais, apesar das agressões sofridas. Por outro lado, as observações relatadas corroboram a baixíssima capacidade de infiltração de água observada neste tratamento.

Para uma compreensão mais completa de como os manejos adotados estão impactando o solo, recomenda-se que trabalhos futuros de pesquisa avaliem outros parâmetros, como taxa de erosão, resistência à penetração de raízes, permeabilidade do solo ao ar, dentre outras.

Uma vez comprovada a recuperação da capacidade funcional do solo em COA, resta entender como isto aconteceu, uma vez que as únicas contribuições antropogênicas foram o cessar dos intensos distúrbios e o uso de plantas de cobertura. Por isso, também são fundamentais estudos de Biologia do Solo, que avaliem a diversidade e atividade da

microbiota e da fauna edáfica, para uma melhor compreensão do seu papel essencial na restauração da qualidade do solo. A resiliência do solo parece estar intimamente ligada à vida ali existente.

Considerada um conceito emergente na Ciência do Solo, a resiliência é uma característica de vital importância para a recuperação da qualidade do solo, a partir de diferentes graus de degradação a que possa ser levado por manejos inadequados.

9 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Jackson Adriano; ARGENTON, Jeferson; BAYER, Cimélio; WILDNER, Leandro do Prado; KUNTZE, Márcio Aleksander G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Vol. 29, nº 3. Viçosa, mai/jun de 2005.

ALBUQUERQUE, Jackson Adriano; MAFRA, Álvaro Luiz; FONTOURA, Sandra Mara Vieira; BAYER, Cimério; PASSOS, João F. M. dos. Avaliação de sistemas de preparo e calagem em um Latossolo bruno aluminico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. vol. 29, nº 6. Viçosa, nov/dez de 2005.

ALMEIDA, Wilk Sampaio de; PANACHUKI, Elói; OLIVEIRA, Paulo Tarso Sanches de; MENEZES, Roniedilson da Silva; ALVES SOBRINHO, Teodorico; CARVALHO, Daniel Fonseca de. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. **Soil and tillage research**. Volume 175, p. 130-138. January, 2018.

ALTIERI, Miguel. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. 3. ed. rev. ampl. São Paulo, SP; Rio de Janeiro, RJ: Expressão Popular; AS-PTA, 2012.

ALVARENGA, R. C.; FERNANDES, B.; SILVA, T. C. A.; RESENDE, M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo de solo e de manejo de palhada de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V. 10, p. 273-277, 1986.

AMADO, T. J. C. MIELNICZUK, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Vol. 24, p. 553-560. 2000.

AMARAL, André Júlio do; BERTOL, Ildegardis; COGO, Neroli Pedro; BARBOSA, Fabrício Tondello. Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um Cambissolo Húmico da região do Planalto Sul-Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32. Viçosa, 2008.

ANDRADE, H. **Solos: origem, componentes e organização**. Lavras, UFLA/FAEPE, 2001134 p.

ANGST, Rosana. Psicologia e Resiliência: uma revisão da literatura. **Psicologia Argum. PUCPR**. V. 27, n. 58, pp. 253-260. Curitiba, 2009.

APELDOORN, D. F. Van; SONNEVELD, M. P. W.; KOK, K.. Landscape asymmetry of soil organic matter as a source of agro-ecosystems resilience. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. Nº 140, p. 401-410. February 2011.

ARCOVERDE, Sálvio Napoleão Soares. **Qualidade de solos sob diferentes usos agrícolas na região do entorno do Lago de Sobradinho – BA**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Vale do São Francisco, 2013.

ASSIS, Renato L. de; LANÇAS Kléber P. Agregação de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto, plantio convencional e mata nativa. **Engenharia Agrícola**, v. 30, nº 1, pp. 58-66. Jaboticabal, jan/fev de 2010.

BARBOSA, Enio Rodrigo. **Biomimética**. Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. Ciência e Cultura, vol. 60, nº 3. São Paulo, 2008.

BARETTA, Dilmar; SANTOS, Júlio Cesar Pires; FIGUEIREDO, Samuel Ribeiro; KLAUBERG-FILHO, Osmar. Efeito do monocultivo de Pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no Planalto Sul Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Vol. 29, nº 5. Viçosa, set/out de 2005.

BARRERA-BASSOL, N; ZINCK, J. A. **The other Pedology**: empirical wisdom of local people. XVI Congresso Mundial de Ciência do Solo. Enschede, The Netherlands, 1998 (Texto).

BASSO, Renato Saldanha; MENDONÇA, Eduardo de Sá; ALVAREZ, Victor Hugo; CORRÊA, Marcelo Metri; COSTA, Lioovando Marciano da. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, nº 1. Viçosa, jan/fev de 2005.

BAVOSO, Marina Araújo; SILVA, Álvaro Pires da; FIGUEIREDO, Getúlio Coutinho; TORMENA, Cássio Antonio; GIAROLA, Neyde Fabíola B. Resiliência física de dois Latossolos vermelhos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 36, nº 6. Viçosa, nov/dez, 2012.

BAYER, Cimélio; BERTOL, Ildegardis. Características químicas de um Cambissolo Húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Vol. 23, p 687-694. 1999.

BAYER, Cimélio; MIELNICZUK, João. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, Gabriel de A.; SILVA, Leandro S. da; CANELLAS, Luciano P.; CAMARGO, Flávio A. O. (Editores). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. rev. e atual. Porto Alegre, Metrópole: 2008.

BERTOL, Ildegardis; BARBOSA, Fabrício Tondella; BERTOL, Camilo; LUCIANO, Rodrigo Vieira. Water infiltration in two cultivated soils in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, nº 2, Viçosa, Mar/Apr 2015.

BERTOL, Ildegardis; BEUTLER, J. F.; LEITE D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta ou forragem Capim Elefante Anão cv Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35. n.5, p. 1047-1054, 2000a.

BERTOL, Ildegardis; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos de solo logo após a colheita de milho e trigo na presença e ausência dos resíduos culturais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa. V, 21, p. 401 a 418, 1997.

BERTOL, Ildegardis; SANTOS, Júlio Cesar Pires dos. Uso do solo e propriedades físico-hídricas no Planalto Catarinense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 2, p. 263-267, fev. 1995.

BERTOL, Ildegardis; SCHICK, Jefferson; MASSARIOL, Jarmum Marcelos; REIS, Émerson Fábio dos; DILY, Leonir. Propriedades físicas de um Cambissolo húmico álico afetadas pelo manejo do solo. **Ciência Rural**. Santa Maria. V. 30. Nº 1. P 91-95, 2000b.

BERTOL, Ildegardis; VÁZQUEZ, Eva Vidal; GONZÁLEZ, Antônio Paz; COGO, Neroli Pedro; LUCIANO, Rodrigo Vieira; FABIAN, Evandro Luis. Sedimentos transportados pela enxurrada em eventos de erosão hídrica em um Nitossolo háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Vol. 34, pp. 245-252. Viçosa, 2010.

BLANCO-CANQUI, Humberto; LAL, Rattan. Soil Resilience and Conservation. In: **Principles of Soil Conservation and Management**. Springer-Dordrecht: Nature Research editors. 2010, p. 425-447.

BOFF, Leonardo. **Sustentabilidade: o que é; o que não é**. Petrópolis, RJ: Ed. Vozes, 2012.

BOUWER, Herman. Intake rates: cylinder infiltrometer. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods*. 2. ed. American Society of Agronomy. **Soil Science Society of America**, p. 825-844. Madison, WI, 1986.

BRASIL, COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS/CPRM. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Escala de 1:750.000. 2008.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, nº 19, p. 121-126, 1995.

CANELLAS, Luciano Pasqualoto; BUSATO, Jader G.; CAUME, David J. **O uso e manejo da matéria orgânica humificada sob a perspectiva da Agroecologia**. CCTA-Universidade Estadual do Norte Fluminense, p. 244-267. Campo dos Goytacazes, 2005.

CANELLAS, Luciano Pasqualoto; SANTOS Gabriel Araújo. **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. CCTA-UENF. Campo dos Goytacazes, 2005.

CARPENEDO, V. MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Vol. 14: p. 99-105. 1990.

CARSON, Rachel. **Primavera silenciosa**. 1. ed. São Paulo, SP: Gaia, 2010.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos 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**, v. 22, p. 527-538, 1998.

CERRI, Carlos Eduardo P.; SPAROVEK, Gerd; BERNOUX, Martial; EASTERLING, Willian; MELILLO, Jerry M.; CERRI, Carlos Clemente. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. **Ciência Agrícola**, v. 64, n°. 1, pp. 83-99. Piaracicaba, jan-fev/2007.

CHIRENDE, Benard. LI, Jianqiao. Review on application of biomimetics in the design of agricultural implements. **Biotechnology and Molecular Biology Reviews**. Vol. 4, n° 2, pp. 42-48. April-2009.

CRUZ, Mariane M. G. da; SILVERIO, Marcelo; MASCHIO, Wagner; BROWN, George G.. **Diversidade da fauna edáfica em floresta ombrófila mista e reflorestamento com *Araucária angustifolia***. XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. XIII Reunião Brasileira sobre Micorrizas. XI Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo. XIII Reunião Brasileira de Biologia do Solo. Guarapari, 2010.

DOMINGUES, Lucas da Silva; RIBEIRO, Nerinéia Dalfollo; ANDRIOLO, Jerônimo Luiz; POSSOBOM, Micheli Thaise Della Flora; ZEMOLIN, Allan Emanuel Mezzomo. Crescimento, produtividade de grãos e acumulação de cálcio, potássio e magnésio em plantas de feijão relacionadas à nutrição com cálcio. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Vol. 38, n° 2, Maringá, Apr./Jun 2016.

DRURY, C.; YANG, X.; REYNOLDS, W.; TAN, C. Influence of crop rotation and aggregate size on carbon dioxide production and denitrification. **Soil Tillage Research**. V. 79, p 87-100. 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2ª Ed., 1997.

EMBRAPA – Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Ocidental. Gomes, L. C.; Xavier, J. J. B. N.; Garcia, M. V. B.; Pérez, E. L.; Gasparotto, L.; Moreira, A. **Determinação da densidade de partículas de diferentes solos da Amazônia**. Documentos, n° 35. Anais da I Jornada de Iniciação Científica da Amazônia Ocidental. Manaus, dezembro/2004.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: EMBRAPA, 2013. 351p.

ERNANI, Paulo Roberto. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. 2. ed. Lages, 2016.

FANG, X. M.; CHEN, F. S.; WAN, S. Z.; YANG, Q. P.; SHI, J. M. Topsoil and deep soil organic carbon concentration and stability vary with aggregate size and vegetation type in subtropical China. **Plos One. Journal Pone**, Sep. 2015. Shandong University, 2015.

FAYAD, Jamil Abdalla; COMIN, Jucinei José; BERTOL, Ildegardis (Coord.). **Sistema de plantio direto de hortaliças –SPDH: o cultivo do tomate**. Florianópolis: EPAGRI, 2016. 87 p. (EPAGRI. Boletim Didático n° 181).

FIGUEIREDO FILHO, Afonso; MORAES, Gilberto Ferreira; SCHAAF, Luciano Budant; FIGUEIREDO, Décio José de. Avaliação da deposição estacional de serapilheira em uma

Floresta Ombrófila Mista localizada no sul do estado do Paraná. **Ciência Florestal**, v. 13, nº 1, p. 11-18. Santa Maria, abril de 2003.

FOLKE, Carl. Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. **Global Environmental Change**. Volume 16, Issue 3, p. 253-267, August 2006.

FORSYTHE, Warren. **Física de Suelos: Manual de Laboratorio**. San José, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1975. 212 p.

FRANZLUEBBERS, A. J. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. **Soil and tillage research**. Volume 66, issue 2. Pages 197-205. USDA – Natural Resources Conservation Center, Watkinsville, GA, July 2002.

GLIESSMAN, Stephen R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. 4. ed. Porto Alegre, RS: Ed. Universidade / UFRGS, 2009.

GOMES, Marco Antônio Ferreira; FILIZOLA, Heloisa Ferreira. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. EMBRAPA Meio Ambiente. Jaguariuna, 2006.

GOTSCH, Ernst. **Homem e Natureza: cultura na agricultura**. Centro de Desenv. Agroecológico Sabiá. 2. ed. Recife: Recife gráfica e editora, 1997.

GRIFFITHS et al. Selecting cost effective and policy-relevant indicators for European monitoring of soil biodiversity and ecosystem function. **Ecological Indicators**, 69. Elsevier Ltd., 2016.

GROFFMAN, Peter M. et al. Earthworms increase soil microbial biomass carrying capacity and nitrogen retention in northern hardwood forests. **Soil Biology and Biochemistry**. Vol. 87. August/2015.

HERNANDEZ, R. J. Muñoz; SILVEIRA, R. I.. Efeitos da saturação por bases, relações Ca:Mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral do milho (*Zea Mays*, L.). **Scientia Agrícola**, vol. 55, nº 1, Piracicaba, Jan/Apr 1998.

HICKMANN, Clério; COSTA, Liovando M. da; SCHAEFER, Carlos Ernesto G. R., FERNANDES, Raphael Bragança Alves. Morfologia e estabilidade de agregados superficiais de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes manejos de longa duração e Mata Atlântica secundária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35: 2.191-2.198. Viçosa, 2011.

HOLMGREN, David. **Permacultura: princípios e caminhos além da sustentabilidade**. Porto Alegre, RS. Via Sapiens, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Manuais técnicos em geociências, nº 1. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

JACQUES, Aino Victor Ávila (organizador). **Solo: base para produção sustentável**. Esteio: FEDERACITE, 2017.

JANZEN, H. H. Beyond carbon sequestration: soil as conduit of solar energy. **European Journal of Soil Science**. Nº 66, pp 19-32. January-2015.

KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. **Size distribution of aggregates**. In: **BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.449-510.

LABRADOR MORENO, J. **La materia orgánica en los agrosistemas**. Madrid: Ministeria Agricultura, 1996. 176 p.

LAHMAR, Rabah (coordenador). **Salvar nossos solos para proteger nossas sociedades**. São Paulo, SP: Instituto Pólis, 2004.

LATOUR, Bruno. **Ciência em ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora**. Tradução de Ivone C. Benedetti; revisão de tradução de Jesus de Paula Assis. São Paulo: Editora UNESP, 2000.

LÁZARI, G. G.; DIAS, M. M.; SILVA, W. M.; TOMAZI, M.. **Avaliação de métodos analíticos na determinação do teor de carbono orgânico total no solo**. Dourados: EMBRAPA Agropecuária Oeste, 2016.

LEHMANN, Johannes; KLEBER, Markus. The contentious nature of soil organic matter. **Nature**, v. 528, p. 60-68, december/2015.

LEINZ, Viktor; AMARAL, Sérgio Estanislau do. **Geologia Geral**. 14. ed. São Paulo: Editora Nacional, 2003.

LIER, Quirijn de Jong van. (editor). **Física do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010.

LINDSTROM, W. J. SCHUMACHER, T. E. COGO, N. P. BLECHA, M. L. Tillage effects on water runoff and soil erosion after sod. **J. Soil Conservation**. Nº 53, p 59-63, 1998.

LOSS, Arcângelo; BASSO, Alex; OLIVEIRA, Bruno Salvador; KOUCHER, Leôncio de Paula; OLIVEIRA, Rodolfo Assis de; KURTZ, Claudinei; LOVATO, Paulo Emilio; CURMI, Pierre; BRUNETTO, Gustavo; COMIN, Jucinei José. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, nº 4. Viçosa, jul/ago de 2015.

LUCIANO, Rodrigo Vieira; ALBUQUERQUE, Jackson Adriano; PÉRTILE, Patrícia. **Métodos de análises físicas do solo**. UDESC-CAV. Departamento do Solos e Recursos Naturais. Lages, 2010.

MAFRA, Álvaro Luiz; SCHONS, Everton; MOTA, Eraldo Cruz; ANDRADE, Ivo Eduardo P. de; BROWN, Vinícius. Planejamento de uso do solo em propriedades rurais. Cidadania em Ação – **Revista de extensão da Universidade do Estado de Santa Catarina**, v. 1, nº 1, p. 01-14. Florianópolis, 2007.

MAJI, Deepamala; MISRA Pooja; SINGH, Sucheta; KALRA, Alok. Humic acid rich vermicompost promotes plant growth by improving microbial community structure of soil as

well as root nodulation and mycorrhizal colonization in the roots of *Pisum sativum*. **Applied Soil Ecology**. Nº 110, pp. 87-108. ScienceDirect/Elsevier, 2016.

MAZURANA, Michael; LEVIEN, Renato; MÜLLER, Jônatan; CONTE, Osmar. Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1.197-1.206. Viçosa, 2011.

MOREIRA, Fátima M. S.; SIQUEIRA, José Oswaldo. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. atual. e ampl. Lavras: Editora UFLA, 2006.

OLIVEIRA, Luciane Costa de. **Erosão hídrica e alguns processos hidrológicos em plantios de pinus, mata e campo nativos e estrada florestal**. Tese de doutorado. Lages: Universidade do Estado de Santa Catarina – Centro de Ciência Agroveterinárias, 2012.

PAGOT, Eduardo; SCHEIDER, Evandro Pedro; NACHTIGAL, Jair Costa; CAMARGO, Daltro Accyoli. **Cultivo da amora-preta**. Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Uva e Vinho, Circular Técnica nº 75, Bento Gonçalves, outubro de 2007.

PEREIRA, Gustavo Eduardo. **Identificação e espacialização geográfica de solos com altos teores de areia por radiometria em Vacaria, RS**. Dissertação de mestrado em Ciência do Solo. Lages, UDESC-CAV, 2017.

PEREIRA, João Antenor. **Percepção do uso do solo e desenvolvimento rural: um estudo da etnopedologia no Planalto Sul de Santa Catarina**. Dissertação de mestrado, PPGCS – CAV- UDESC. Lages, 2004.

PEREIRA, T. P.; FONTANA, D. C.; BERGAMASCHI, H. O clima da região dos Campos de Cima da Serra, Rio Grande do Sul: condições térmicas e hídricas. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 15, nº. 2, pp. 145-157, Porto Alegre, 2009.

PILLAR, Valério de Patta; MÜLLER, Sandra Cristina; CASTILHOS, Zélia Maria de Souza; JACKES, Aino Victor Ávila. (Editores). **Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009.

PRIMACK, Richard B.; RODRIGUES, Efraim. **Biologia da conservação**. Londrina, PR: E. Rodrigues, 2001.

PRIMAVESI, Ana. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002.

RAMOS, Júlio Cesar. **Cobertura e rugosidade da superfície na proposição de indicadores de qualidade de um Cambissolo Húmico relacionados ao controle da erosão hídrica**. Tese de doutorado. Universidade do Estado de Santa Catarina – Centro de Ciências Agroveterinárias – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Lages, 2015.

REYNOLDS, W. D.. Use of bimodal hydraulic property relationships to characterize soil physical quality. **Geoderma**. Volume 294, p. 38-49. May 2017.

RIBEIRO, Kátia Daniela; MENEZES, Stélio Maia; MESQUITA, Maria da Glória B. F.; SAMPAIO, Fabrício de M. Telo. Propriedades físicas do solo influenciadas pela distribuição

de poros de seis classes de solos da região de Lavras, MG. **Ciênc. Agrotec.** v. 31, nº 4, pp. 1.167-1.175. Lavras, jul-ago de 2007.

SALTON, Júlio Cesar; MIELNICZUK, João; BAYER, Cimélio; BOENI, Madalena; CONCEIÇÃO, Paulo Cesar; FABRÍCIO, Amoacy Carvalho; MACEDO, Manuel Cláudio Motta; BROCH, Dirceu Luiz. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 11-21. Viçosa, 2008.

SANTOS, Gabriel de A.; SILVA, Leandro S. da; CANELLAS, Luciano P.; CAMARGO, Flávio A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. rev. atualizada. Porto Alegre: Metrópole, 2008.

SANTOS, Kristina Fiorentin dos; BARBOSA, Fabrício Tondello; MOTA, Josie Moraes; WERNER, Romeu de Souza; BANDEIRA, Douglas Henrique; WOLSCHICK, Neuro Hilton. **Infiltração de água em diferentes modalidades de uso do solo no planalto catarinense**. XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 28/jul-02/ago, Florianópolis, 2013.

SCHJONNING, P.; ELMHOLT, S.; CHRISTENSEN, B. T. Managing soil quality: challenges in modern agriculture. **Danish Institute of Agricultural Sciences**. Tjele, Denmark, 2004.

SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Tamanho da subamostra e representatividade da fertilidade do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 32, pp. 963-968. 2002.

SEQUINATTO, Letícia. **Qualidade física do solo e rendimento de grãos num Argissolo em processo de recuperação**. Tese de doutorado. Porto Alegre: UFRGS, maio de 2010.

SEYBOLD, C. A.; HERRICK, J. E.; BREJDA, J.J. Soil resilience: A fundamental component of soil quality. **Soil science**, 1999.

SILVA, Álvaro Pires da; LEÃO, Tairone Paiva; TORMENA, Cássio Antonio; GONÇALVES, Antônio Carlos Andrade. Determinação da permeabilidade ao ar em amostras indeformadas de solo pelo método da pressão decrescente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Vol. 33, nº 1, p. 535-545, 2009.

SILVA, Antônio Sousa; SILVA, Ivandro de França da; BANDEIRA, Lucas Borchart; DIAS, Bruno de Oliveira; SILVA NETO, Luis de França da. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. **Ciência Rural**, v. 44, nº 10, p. 1.783-1.789. Santa Maria, out de 2014.

SILVA. I. F. da; MIELNICZUK. J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V. 21, p. 313-319, 1997.

SILVA FILHO, Roberti André da. **Compactação do solo devida à mecanização agrícola**. Web Artigos. Disponível em: <https://www.webartigos.com/artigos/compactacao-do-solo-devido-a-mecanizacao-agricola/135347>. Acesso em 19/11/2017, às 21 horas e 31 minutos.

SILVEIRA, Júlio Cesar da. **Sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH): fundamentos e estratégias para um desenvolvimento rural sustentável**. TCC – Graduação em Agronomia – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Florianópolis, 2007.

SIX, J.; PAUSTIAN, K. Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool. **Soil Biology and Biochemistry**. V. 68, A4-A9, 2014.

SOUZA, Edicarlos Damacena de; COSTA, Sérgio Ely Valadão Gigante de Andrade; ANGHINONI, Ibanor; CARVALHO, Paulo Cesar de Faccio; ANDRIQUETI, Marcelo; CAO, Eduardo. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 33, nº 6. Viçosa, nov-dez de 2009.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S. & TOMM, G.O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33: 129-136, 2009.

STEFANOSKI, Daiane C.; SANTOS, Glenio G.; MARCHÃO, Robélío L.; PETTER, Fabiano A.; PACHECO, Leandro P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, nº 12. Campina Grande, dez/2013.

STRECK, Edemar Valdir; KÄMPF, Nestor; DALMOLIN, Ricardo Simão Diniz; NASCIMENTO, Paulo Cesar do; SCHNEIDER, Paulo; GIASSON, Elvio; PINTO, Luiz Fernando Spinelli. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER, 2008.

TORN, M. S.; TRUMBORE, S. E.; CHADWICK, O. A.; VITOUSEK, P. M.; HENDRICKS, D. M. Mineral control of soil organic carbon storage and turnover. **Nature**, v. 389, p. 170-173, 1997.

TROEH, Frederick R.; THOMPSON, Louis M. **Solos e fertilidade do solo**. São Paulo: Organização Andrei Editora Ltda., 2007.

VEGA, Maria Raquel Garcia. **Fundamentos da química orgânica de substâncias húmicas**. CCTA-UENF, pp 268-286. Campo dos Goytacazes, 2005.

VEZZANI, Fabiane Machado; MIELNICZUK, João. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 213-223. Viçosa, 2011.

VEZZANI, Fabiane Machado; MIELNICZUK, João. *Uma visão sobre qualidade do solo (An overview of soil quality)*. (Revisão de literatura). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V. 33 Nº 4. Viçosa, July/Aug. 2009.

VEZZANI, Fabiane Machado. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Tese de doutorado). Porto Alegre, 2001.

WANG, Guoqiang; FANG, Kingking; WU, Binbin; YANG, Huicai; XU, Zongxue. Relationship between soil erodibility and modeled infiltration in different soils. **Journal of Hydrology**. Vol. 528, p. 408-418. September 2015.

ZHANG, Xiaoke et. al. Effects of tillage and residue management on soil nematode communities in North China. **Ecological indicators**. Nº 13. 2012.