

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

ULIANA RIBEIRO SILVA

**IMPACTOS DOS SISTEMAS DE CULTIVO DE HORTALIÇAS SOBRE A
QUALIDADE DE SOLOS DA REGIÃO SERRANA DO ESPÍRITO SANTO**

ALEGRE - ES

2020

ULIANA RIBEIRO SILVA

**IMPACTOS DOS SISTEMAS DE CULTIVO DE HORTALIÇAS SOBRE A
QUALIDADE DE SOLOS DA REGIÃO SERRANA DO ESPÍRITO SANTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestra em Produção Vegetal, na área de Solos e Nutrição de Plantas

Orientador: Prof. DSc Diego Lang Burak

ALEGRE - ES

2020

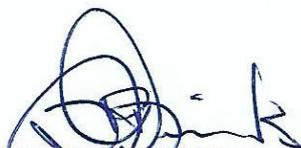
ULIANA RIBEIRO SILVA

**IMPACTOS DOS SISTEMAS DE CULTIVO DE HORTALIÇAS SOBRE A
QUALIDADE DE SOLOS DA REGIÃO SERRANA DO ESPÍRITO SANTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de Mestra em Produção Vegetal, na área de concentração de Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em 29 de maio de 2020

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. D. Sc. Diego Lang Burak
Centro de Ciências Agrárias e Engenharias - UFES
Orientador



Prof. D. Sc. Eduardo de Sá Mendonça
Centro de Ciências Agrárias e Engenharias - UFES



Prof. D. Sc. Renato Ribeiro Passos
Centro de Ciências Agrárias e Engenharias - UFES



Prof. D. Sc. Lorena Abdalla de Oliveira Prata Guimarães
Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Centro-Serrano

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

S586i Silva, Uliana Ribeiro, 1994-
Impactos dos sistemas de cultivo de hortaliças sobre a qualidade de solos da região serrana do Espírito Santo / Uliana Ribeiro Silva. - 2020.
98 f. : il.

Orientador: Diego Lang Burak.
Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Horticultura. 2. Solos - Manejo. 3. Solos - Qualidade. 4. Agricultura orgânica. I. Burak, Diego Lang. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. III. Título.

CDU: 63

Aos meus pais, Seledir e João;
Ao meu irmão, Hugo.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, que sempre esteve comigo;

À minha família, os maiores incentivadores e apoiadores da vida;

Ao meu namorado, pelo apoio e paciência;

Ao professor Diego Lang Burak, pela orientação, parceria, paciência e ensinamentos a mim dedicados durante este estudo;

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo, pela oportunidade de cursar o mestrado;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, pela concessão da bolsa de estudos;

Ao Galderes e ao Sávio, fundamentais para o contato com os produtores e as áreas estudadas;

Aos colegas, Lenita, Ane, Sara, Camila, Danilo, Raul, Vinicius e Cristiano, imprescindíveis nas coletas de solo e análises laboratoriais;

Aos produtores, por permitirem a realização do estudo em suas propriedades;

Aos Professores Eduardo de Sá Mendonça, Renato Ribeiro Passos e a Lorena Abdalla, por aceitarem fazer parte da banca examinadora de defesa da dissertação e, à professora Jenesca Florencio, que assim como os integrantes da banca, contribuiu para o aperfeiçoamento deste estudo;

Por fim, a todos que de certa forma tornaram possível a execução deste mestrado, minha mais sincera gratidão!

RESUMO GERAL

SILVA, Uliana Ribeiro. **Impactos dos sistemas de cultivo de hortaliças sobre a qualidade de solos da região serrana do Espírito Santo.**

Considerando a carência de estudos envolvendo solos em áreas agrícolas na região serrana do ES, já que esta detém grande parte da produção de hortaliças do estado, o objetivo principal deste trabalho foi avaliar atributos químicos físicos e biológicos de solos cultivados com hortaliças sob diferentes manejos na região serrana do ES, visando à obtenção de uma perspectiva geral de como os diferentes sistemas de manejo têm impactado a qualidade edáfica. Foram selecionadas 13 áreas na região de estudo, priorizando as culturas de importância econômica e o tipo de manejo adotado. As amostras deformadas e indeformadas de solo foram coletadas nas profundidades de 0-20 e 60-80 cm para avaliar os atributos do solo bem como quantificar os níveis de elementos-traço metálicos. Também foram instaladas armadilhas do tipo pitfall para quantificação e identificação de fauna do solo. Os dados foram submetidos à análise de agrupamento por similaridade (Cluster Analysis). Os atributos químicos, físicos e biológicos não foram efetivos em diferenciar as áreas de acordo com o sistema de manejo empregado, já que a análise estatística agrupou áreas de manejo distintas, impossibilitando a conclusão de qual tipo de manejo estaria influenciando de maneira benéfica ou prejudicial a qualidade dos solos. Entretanto, os resultados expressam o efeito das práticas e técnicas agrícolas adotadas, sendo um conjunto destas mais influentes na qualidade do solos do que os sistemas de manejo como pressuposto. Assim, o ideal seria o desenvolvimento de mais estudos voltados às práticas agrícolas empregadas no solo do que propriamente os sistemas de cultivos nos quais as áreas agrícolas são classificadas.

Palavras-chave: hortaliças, região serrana, qualidade de solos, manejo convencional, orgânico.

GENERAL ABSTRACT

SILVA, Uliana Ribeiro. **Impacts of vegetable cultivation systems on the quality of soils in the mountainous region of Espírito Santo.**

Considering the lack of studies involving soils in agricultural areas in the mountainous region of ES, since it owns a large part of the state's vegetable production, the main objective of this work was to evaluate physical and biological chemical attributes of soils cultivated with vegetables under different managements. Mountain region of ES, aiming to obtain a general perspective of how the different management systems have impacted the edaphic quality. 13 areas were selected in the study region, prioritizing economically important cultures and the type of management adopted. Deformed and undisturbed soil samples were collected at depths of 0-20 and 60-80 cm to assess soil attributes as well as quantify the levels of metallic trace elements. Pitfall traps were also installed to quantify and identify soil fauna. The data were submitted to cluster analysis by similarity (Cluster Analysis). The chemical, physical and biological attributes were not effective in differentiating the areas according to the management system employed, since the statistical analysis grouped different management areas, making it impossible to conclude which type of management would be beneficially or adversely influencing the soil quality. However, the results express the effect of the agricultural practices and techniques adopted, a set of which are more influential in the quality of the soil than the management systems as an assumption. Thus, the ideal would be to develop more studies focused on agricultural practices employed in the soil than the crop systems in which agricultural areas are classified.

Keyword: vegetables, mountain region, soil quality, conventional, organic management.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Usos, localização, características e históricos de manejo das áreas de estudo na região serrana do ES.....	27
Tabela 2 - Caracterização textural das áreas cultivadas com hortaliças em diferentes tipos de manejo do solo, nas profundidades de 0-20 e 60-80 cm	35
Tabela 3 - Valores de GF e DMP na profundidade de 0-20 cm	36
Tabela 4 - Caracterização química das áreas cultivadas com hortaliças em diferentes manejos do solo nas profundidades de 0-20 cm e 60-80 cm	43
Tabela 5 - Número total de indivíduos (pitfall e bloco) por grupo taxonômico coletados nas áreas cultivadas com hortaliças.....	77
Tabela 6 - Grupos de fauna edáfica, número de indivíduos amostrados em cada método de coleta, índice de Shannon (H), índice de Pielou (e) e índice de Simpson (Is)	78
Tabela 7 - Valores de temperatura, Umidade, emissão de CO ₂ , emissão de CO ₂ ajustada para 25°C, proporção da emissão de CO ₂ quando a temperatura aumenta 10°C (Q10) e quociente metabólico (qCO ₂) nas áreas cultivadas com hortaliças na região serrana do Espírito Santo.....	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa da precipitação média anual acumulada para o estado do Espírito Santo (1977-2006). Foco para os municípios de Santa Maria de Jetibá, Domingos Martins, Afonso Cláudio e Venda Nova do Imigrante	23
Figura 2 - Mapa da temperatura média anual registrada no estado do Espírito Santo (1977-2006). Foco para os municípios de Santa Maria de Jetibá, Domingos Martins, Afonso Cláudio e Venda Nova do Imigrante.....	24
Figura 3 - Geologia das áreas estudadas.....	25
Figura 4 - Valores de resistência à penetração média do solo nas áreas 8-CV, 1-SC, 2-CO e MT, na profundidade de 0-60 cm e o aumento da RMP logo abaixo da camada arável observada na maioria das áreas sob os diferentes manejos	38
Figura 5 - Valores de resistência à penetração média de solos cultivados com hortaliças na região serrana do Espírito Santo na profundidade de 0-60 cm.....	39
Figura 6 - Valores de densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade de solos cultivados com hortaliças na região serrana do Espírito Santo, na profundidade de 0-20 cm	40
Figura 7 - Teores de elementos-traço de solos cultivados com hortaliças na região serrana do Espírito Santo, nas profundidades de 0-20 cm e 60-80 cm.....	46
Figura 8 - Dendograma de similaridade entre os sistemas de manejo estudados na região serrana do Espírito Santo.....	47
Figura 9 - Média e erro padrão dos atributos físicos analisados neste capítulo na profundidade de 0-20 cm nos 4 grupos formados a partir da análise de agrupamento	48
Figura 10 - Média e erro padrão dos atributos químicos analisados neste capítulo na profundidade de 0-20 cm nos 4 grupos formados a partir da análise de agrupamento	49
Figura 11 - Teores de carbono orgânico total em solos cultivados com hortaliças na região serrana do Espírito Santo, na profundidade de 0-20 cm	73
Figura 12 - Teores de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em solos cultivados com hortaliças na região serrana do Espírito Santo	74
Figura 13 - Quociente microbiano e matéria orgânica leve em solos cultivados com hortaliças na região serrana do Espírito Santo.....	74

Figura 14 - Nitrogênio Total e Nitrogênio Mineralizável em solos cultivados com hortaliças na região serrana do Espírito Santo.....	75
Figura 15 - Distribuição dos grupos de fauna edáfica identificados nas áreas cultivadas com hortaliças na região serrana do Espírito Santo.....	77
Figura 16 - Atividade enzimática das áreas 1-CO, 3-CO, 2-CV e 3-CV.....	79
Figura 17 - Média e erro padrão dos atributos biológicos analisados neste capítulo na profundidade de 0-20 cm nos 4 grupos formados a partir da análise de agrupamento	81

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	14
2. JUSTIFICATIVA	15
3. OBJETIVOS	16
3.1. Geral	16
3.2. Específicos.....	16
4. REFERÊNCIAS	16
CAPÍTULO 1: ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE SOLOS CULTIVADOS COM HORTALIÇAS SOB DIFERENTES MANEJOS NA REGIÃO SERRANA DO ESPÍRITO SANTO	18
1. INTRODUÇÃO	20
2. MATERIAL E MÉTODOS	22
2.1. Caracterização das áreas	22
2.2. Amostragem e preparo das amostras	31
2.3. Análises físicas do solo	32
2.4. Análises químicas do solo.....	32
2.5. Análise estatística	33
3. RESULTADOS	34
4. DISCUSSÃO	50
5. CONCLUSÕES	58
CAPÍTULO 2: MATÉRIA ORGÂNICA E ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DOS SOLOS CULTIVADOS COM HORTALIÇAS NA REGIÃO SERRANA DO ESPÍRITO SANTO	65
1. INTRODUÇÃO	67
2. MATERIAL E MÉTODOS	68
2.1. Caracterização da área	68
2.2. Amostragem e preparo de amostras	68

2.3. Análises dos atributos biológicos dos solos	69
2.3.1. Análises da Matéria Orgânica do Solo.....	69
2.3.2. Fauna Edáfica.....	70
2.3.3. Atividade Enzimática	71
2.3.4. Emissão de CO ₂ (respiração basal).....	71
2.4. Análise estatística	72
3. RESULTADOS.....	72
4. DISCUSSÃO	83
5. CONCLUSÕES	90
6. REFERÊNCIAS.....	91
CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
ANEXOS	97

1. INTRODUÇÃO GERAL

A região serrana do Espírito Santo é considerada a principal produtora de hortaliças do estado, concentrando cerca de 80% da produção de olerícolas estadual (ANGELETTI, 2015). Segundo o Sistema de Informações da Produção Agropecuária Capixaba (Sipac), destacaram-se no ano de 2016 a produção de alface, couve-flor, repolho, tomate, pimentão, inhame, abobrinha, morango, dentre outras. Sendo a cultura do tomate considerada a de maior importância, em dezembro de 2019, foram comercializados aproximadamente 3.000 toneladas na CEASA/ES - Vitória, provenientes em sua maioria do município de Domingos Martins (CONAB, 2020).

A produção regional, de acordo com Angeletti (2015), é caracterizada primordialmente como familiar, e muitas vezes realizada em áreas com relevo forte ondulado a montanhoso, cultivo intensivo com preparo do solo geralmente acompanhando a declividade do terreno, dependente de agroquímicos e com ampla utilização de resíduos de origem animal. Entretanto, apesar do predomínio de sistema de cultivo convencional, o crescimento de cultivos diferenciados tem sido observado nos últimos anos, com destaque para os cultivos em ambiente protegido e sob sistema de manejo orgânico (DE MELO e VILELA, 2007).

Os diversos sistemas de manejo adotados provocam mudanças nos atributos do solo. A intensidade destas mudanças é observada considerando o tempo de uso e as circunstâncias edafoclimáticas. Segundo Llanillo et al (2006), o sistema de cultivo convencional que associa uso intensivo do solo, mecanização e, por vezes, baixo aporte de matéria orgânica, impulsionou a degradação dos solos nos últimos anos, devido aos intensos processos erosivos, de compactação e perdas de solo. As alterações nos atributos químicos, físicos e biológicos dos solos, provocadas pelo tipo manejo adotado, podem gerar quedas de qualidade, de sustentabilidade agrícola/ambiental e econômica (NIERO et al., 2010).

O elevado aporte e o uso inadequado de agroquímicos como pesticidas e fertilizantes têm sido apontados como os principais responsáveis pela contaminação dos diferentes compartimentos ambientais, tanto pelo excesso de nutrientes, quanto pelo

aumento do teor de elementos-traço. Além disso, o uso intensivo desses insumos agrícolas somados à maior frequência nas operações de preparo do solo podem ser a causa do desequilíbrio biológico, diminuindo a diversidade dos organismos edáficos (MALAVOLTA, 1994; BARETTA et al., 2003; CIVIDANES, 2002).

Face à complexidade das relações existentes no solo e considerando sua degradação, associada à crescente poluição ambiental, a preocupação com um futuro mais sustentável e capaz de garantir a segurança alimentar, é real (COSTA; DA COSTA, 2015). Por isso, o monitoramento dos atributos do solo, bem como de sua qualidade é uma importante ferramenta que fornecerá subsídios para mitigar o desconhecimento da aptidão e uso do solo frente às suas limitações, bem como para prevenir o avanço da degradação, promovendo o equilíbrio entre a produtividade e o meio ambiente e, para permitir que o solo exerça suas diversas funções plenamente.

Haja vista que a região serrana do ES apresenta escassez de dados referentes ao uso e manejo do solo e seus impactos na qualidade deste, o presente estudo visa elucidar os seguintes questionamentos: O manejo convencional adotado na produção de hortaliças na região serrana do ES é prejudicial à qualidade do solo? O manejo orgânico e o semiconvencional adotados na produção de hortaliças na região serrana do ES são benéficos à qualidade do solo? Quais os impactos gerados aos atributos do solo considerando os diferentes tipos de sistemas de cultivo? Dito isso, o objetivo principal deste estudo é avaliar os impactos dos sistemas de cultivo de hortaliças sobre a qualidade de solos da região serrana do ES.

2. JUSTIFICATIVA

Devido à maior parte da produção de hortaliças ocorrer na região serrana do ES de forma intensiva, com elevado aporte de agroquímicos e, em áreas de acentuada declividade, a realização de estudos para avaliação dos impactos dos sistemas de cultivo de hortaliças na qualidade de solos poderá nortear políticas de incentivo ao desenvolvimento agrícola e socioeconômico sustentável, melhorando não só a qualidade dos solos, mas reequilibrando as relações entre o homem do campo, o meio ambiente e a produtividade.

3. OBJETIVOS

3.1. Geral

Avaliar os impactos dos sistemas de cultivo de hortaliças sobre a qualidade de solos na região serrana do ES por meio dos atributos químicos, físicos e biológicos, visando à obtenção de uma perspectiva geral de como o uso e manejo tem influenciado na qualidade edáfica.

3.2. Específicos

1. Caracterizar os atributos químicos e físicos dos solos em propriedades produtoras de hortaliças e relacioná-los ao uso e manejo;
2. Quantificar os teores de matéria orgânica, matéria orgânica leve e carbono da biomassa microbiana nos solos das propriedades em estudo;
3. Avaliar a fauna edáfica de acordo com as diferentes intensidades de uso do solo;
4. Quantificar os níveis de contaminação do solo por elementos-traço metálicos.

4. REFERÊNCIAS

ANGELETTI, M. da P. Estratégia de desenvolvimento tecnológico e social local para melhoria nos agroecossistemas produtores de hortaliças e grãos da Região Centro Serrana do Espírito Santo. In: SILVA, H. B. C. da; CANAVESI, F. de C. **Conhecimento, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento da Agricultura Familiar**. Brasília. Ministério do Desenvolvimento Agrário. 231 – 240 p, 2015.

BARETTA, D. et al. Fauna edáfica avaliada por armadilhas e catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 2, n. 2, p. 97-106, 2003.

CIVIDANES, F. J. Efeitos do sistema de plantio e da consorciação soja-milho sobre artrópodes capturados no solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 37, n. 1, p. 15-23, 2002.

CONAB-Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim Hortigranjeiro**, v. 6, n.1, p. 34-38, 2020.

COSTA, A.; DA COSTA, A. N. **Valores orientadores de qualidade de solos no Espírito Santo**, 2015.

DE MELO, P. C. T.; VILELA, N. J. **Importância da cadeia produtiva brasileira de hortaliças**. 2007.

LLANILLO, R. F. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 27, n. 2, 2006.

MALAVOLTA, E. Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados: mitos, mistificação e fatos. São Paulo: **Petroquímica**, p.153, 1994.

NIERO, L. A. C. et al. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1271-1282, 2010.

SIPAC. **Sistema de Informações da Produção Agropecuária Capixaba**. (Sistema de consulta de dados). Incaper: Vitória, 2016.

CAPÍTULO 1

ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE SOLOS CULTIVADOS COM HORTALIÇAS SOB DIFERENTES MANEJOS NA REGIÃO SERRANA DO ESPÍRITO SANTO

Resumo

Este trabalho teve como objetivo avaliar os atributos químicos e físicos dos solos cultivados com hortaliças na região serrana do Espírito Santo, sob sistema de cultivo convencional, semiconvencional e orgânico e seus possíveis impactos sobre a qualidade de solos. Foram selecionadas oito áreas submetidas ao manejo convencional, duas ao manejo semiconvencional, três áreas submetidas ao manejo orgânico e uma área de mata para coleta de amostras de solo deformadas e indeformadas nas profundidades de 0-20 e 60-80 cm. Os dados foram submetidos à análise de agrupamento (Cluster Analysis) por similaridade. Formaram-se 4 grupos de acordo com a análise estatística, o grupo 1 uniu as áreas que efetuam diversas práticas agrícolas como rotação de cultura, pousio, adubação verde, adubação orgânica, menor intensidade no preparo do solo, uso de plantas de cobertura e cultivo diversificado, sendo esse grupo o que obteve maior fertilidade, menor Ds, maior PT, maior DMP e, por isso, expressou melhor qualidade do solo. Por outro lado, o grupo 4, formado por áreas com baixa adesão de práticas agrícolas mais conservacionistas do solo, obteve resultados inferiores quando comparado aos demais grupos (menores teores de Ca, Mg, K, menor DMP). Os resultados demonstram que os atributos químicos e físicos não foram efetivos na diferenciação das áreas agrícolas quanto aos sistemas de manejo, já que a análise de agrupamento reuniu sistemas de manejo distintos no mesmo grupo. No entanto, estes expressam o efeito das práticas agrícolas adotadas, as quais influenciaram mais na qualidade dos solos, independente do manejo. Quanto aos elementos-traço, algumas áreas ultrapassaram o valor de prevenção em pelo menos um desses elementos: cádmio (Cd), crômio (Cr) e Cobalto (Co).

Palavras-chave: hortaliças, manejo orgânico, convencional, elementos-traço.

CHAPTER 1
CHEMICAL AND PHYSICAL ATTRIBUTES OF SOIL CULTIVATED WITH
VEGETABLES UNDER DIFFERENT MANAGEMENT IN THE MOUNTAINOUS
REGION OF ESPÍRITO SANTO

Abstract

This work aimed to evaluate the chemical and physical attributes of soils cultivated with vegetables in the mountain region of Espírito Santo, under conventional, semi-conventional and organic cultivation systems and their possible impacts on soil quality. Eight areas were submitted to conventional management, two to semi-conventional management, three areas subjected to organic management and one forest area to collect deformed and undisturbed soil samples at depths of 0-20 and 60-80 cm. The data were submitted to cluster analysis (Cluster Analysis) by similarity. Four groups were formed according to the statistical analysis, group 1 joined the areas that carry out various agricultural practices such as crop rotation, fallow, green manure, organic manure, less intensity in soil preparation, use of cover crops and cultivation diversified, this group being the one that obtained the highest fertility, lowest Ds, highest PT, highest DMP and therefore expressed the best soil quality. On the other hand, group 4, formed by areas with low adherence to more soil conservation practices, obtained lower results when compared to the other groups (lower Ca, Mg, K, lower DMP). The results showed that the chemical and physical attributes were not effective in differentiating agricultural areas in terms of management systems, since the cluster analysis brought together different management systems in the same group. However, they express the effect of the agricultural practices adopted, which influenced the soil quality more, regardless of the management. As for the trace elements, some areas have exceeded the prevention value in at least one of these elements: cadmium (Cd), chromium (Cr) and Cobalt (Co).

Keywords: vegetables, organic, conventional management, trace elements.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo do desenvolvimento da humanidade, o solo vem sofrendo diversos danos, cometidos a esse recurso aparentemente ilimitado. São conhecidas muitas formas de uso e manejo do solo responsáveis pela elevação da produtividade e dos lucros, todavia, é necessário questioná-las, visto que foram pensadas com perspectivas de curto prazo. Muitos solos, outrora férteis e produtivos, foram reduzidos a extensas áreas improdutivas devido a atividades agrícolas inadequadas que desencadearam processos de erosão e desertificação (ABBOUD et al., 2013).

Sob o ponto de vista agrônomo, e considerando os fatores que podem influenciar a produtividade das culturas, os aspectos geralmente apontados são aqueles relacionados às alterações dos atributos dos solos. Os solos possuem uma ampla variação de propriedades e características em função do ambiente de formação e das modificações antrópicas (FREIRE et al., 2013).

Os aspectos físico-químicos do solo são dependentes das condições edafoclimáticas e do sistema de manejo empregado (DORAN e PARKIN, 1996). Dessa maneira, os diferentes tipos de manejo serão responsáveis pelas mais variadas transformações, envolvendo as partes química, física e biológica do solo, e conseqüentemente gerando alterações na dinâmica da água e da matéria orgânica, nos estoques de carbono, no balanço nutricional e nas diversas comunidades de fauna edáfica (ROZANE et al., 2010; FREIRE et al., 2013; HOWARD, 2012). Tais alterações podem gerar prejuízos à qualidade, à produtividade dos cultivos e ao aspecto socioambiental (CARNEIRO et al., 2009). Por isso, o conhecimento do impacto do uso e manejo do solo na qualidade do mesmo, é imprescindível no desenvolvimento de agroecossistemas sustentáveis (BAVOSO et al., 2010).

Quando o solo é submetido aos sistemas de manejo das atividades agrícolas, os processos naturais em curso são alterados (HOWARD, 2012). No manejo convencional, a qualidade do solo pode ser comprometida pela intensa mobilização, favorecendo a erosão, as perdas de solo e a desestruturação edáfica, sendo estes processos agravados sob condição de maior declividade. A maior frequência nas

operações de preparo do solo promove a quebra dos agregados e expõe o carbono orgânico à degradação, já que este se encontrava fisicamente protegido, a matéria orgânica é mineralizada mais rapidamente e ocorre a diminuição dos estoques de carbono orgânico do solo (JUNIOR, 2013; LLANILLO, 2006).

Outro problema presente em parte das áreas que adotam o manejo convencional é o uso indiscriminado de agroquímicos, fator para diminuição da atividade biológica, contaminação dos diferentes compartimentos ambientais e conseqüentemente da degradação ambiental. (MALAVOLTA, 1994; BARETTA et al., 2003; VALARINI et al., 1996).

Contra-pondo-se à agricultura convencional, manejos mais conservacionistas vêm sendo empregados na agricultura, como o manejo orgânico, baseado na conservação do solo e da água, na sustentabilidade dos agroecossistemas, no aumento da biodiversidade, menor revolvimento do solo, adoção de práticas que contribuam para ciclagem de nutrientes, lançando mão de insumos externos como fertilizantes e adotando adubação orgânica como base (ABBOUD et al., 2013).

A incorporação de materiais orgânicos, como esterco animal, favorece características propícias à agricultura. Melhora a estruturação, a porosidade e conseqüentemente a aeração, infiltração e retenção de água no solo. Também são benéficos para atividade microbiana, disponibilidade e absorção de nutrientes (FILGUEIRA, 2013).

A partir deste contexto, e considerando Angeletti (2015), que descreve a região serrana do ES como a principal produtora de hortaliças do estado, onde os cultivos são frequentemente realizados em áreas de acentuado relevo, dependentes de agroquímicos, com ampla utilização de resíduos de origem animal e os escassos estudos sobre a influência dos diferentes manejos na qualidade desses solos, é essencial que por meio dos atributos de solos, a qualidade destes seja analisada de forma eficaz e integral, identificando sistemas de manejo deficientes e também os capazes de promover a sustentabilidade dos recursos naturais e ao mesmo tempo manter as propriedades rurais (DEPONTI; ALMEIDA, 2002). Diante disso, objetivou-

se avaliar os impactos das mudanças causadas nos atributos químicos e físicos de solos sob manejo convencional, semiconvencional e orgânico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização das áreas

Um levantamento prévio dos sistemas de produção de hortaliças foi realizado junto a colaboradores do Incaper e da Coopeavi para seleção de propriedades rurais inseridas na região de estudo, priorizando as culturas de importância econômica e o tipo de manejo adotado. Foram selecionadas propriedades nos municípios de Santa Maria de Jetibá, Domingos Martins, Afonso Cláudio e Venda Nova do Imigrante.

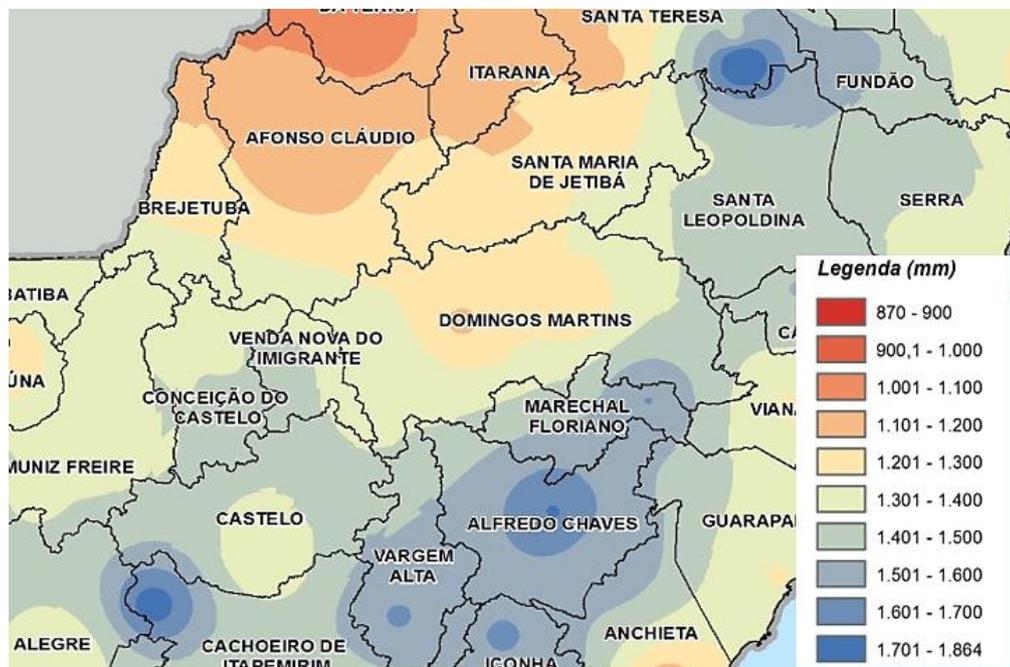
Os municípios desse estudo estão inseridos nas microrregiões central serrana e sudoeste serrana, as quais apresentam os maiores índices de elevação junto à microrregião do Caparaó capixaba. O relevo da região serrana apresenta grande variação de altitude com classes de 20 a 100 m até classes que vão de 1880 a 1900m. As maiores altitudes encontram-se no município de Domingos Martins, seguido pelos municípios de Venda Nova do Imigrante e Santa Maria de Jetibá que podem atingir mais de 1000 m de altitude. Em Afonso Cláudio a altitude começa a diminuir, chegando aos 400 m. O relevo destes municípios varia de ondulado, forte ondulado a montanhoso (IDAF, 2004; SILVA et al., 2011).

O clima da região de Venda Nova do Imigrante apresenta elevado índice pluviométrico, que varia de 1200 a 1500 mm/ano, assim como o de Domingos Martins com índices que variam de 1100 a 1400 mm/ano (Figura 1). Em Afonso Cláudio e Santa Maria de Jetibá o índice pluviométrico varia de 1000 a 1300 mm/ano e de, 1100 a 1350 mm/ano, respectivamente (IJSN, 2011; FEITOZA et al., 2001). Os municípios de Santa Maria de Jetibá, Domingos Martins e Venda Nova do Imigrante são caracterizados por temperaturas mais amenas e de acordo com a classificação de Köppen (1928) possuem clima temperado, com estações de verão e inverno bem definidas e temperatura média nos meses mais frios até 18°C; Afonso Cláudio apresenta temperaturas mais elevadas, com clima mesotérmico seco, em que a temperatura média do mês mais quente ultrapassa 22°C (Figura 2).

A área de estudo está situada no orógeno Araçuaí. Este orógeno é uma subdivisão localizada ao norte de um sistema orogênico Neoproterozoico denominado Província Mantiqueira. (ALMEIDA et al., 1977, BRITO-NEVES; CORDANI, 1991). A litologia da área de estudo é diversificada, cristalizadas em diversos eventos tectônicos da era neoproterozoica a cenozoica. Envolve rochas metamórficas do embasamento e metavulcânicas sedimentares proterozoicas (NP3, NP2 e NP1), rochas intrusivas sin a pós-colisionais (C) e sedimentares recentes (Q) (Figura 3) OLIVEIRA et al., 2018; WIEDEMANN-LEONARDOS et al., 2000) (Figura 3).

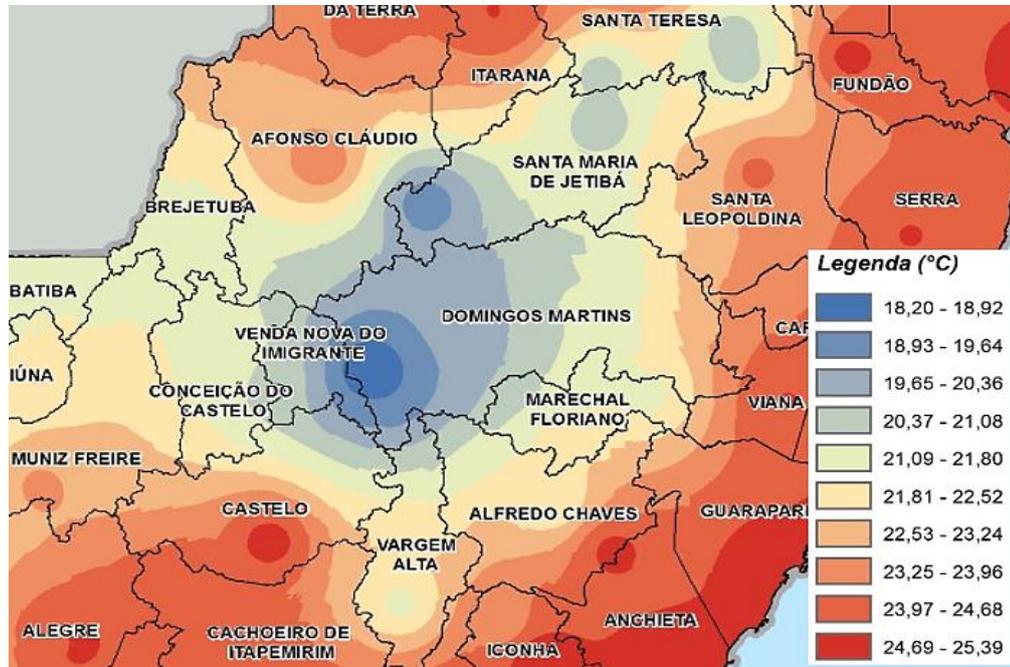
Os solos da região estudada são predominantemente autóctones, mas no fundo dos vales ocorrem também os solos alóctones, formados a partir de sedimentos. A partir de análises visuais, os solos onde foram coletadas amostras são predominantemente Latossolos e Argissolos, com variação de cores amareladas, vermelho-amareladas e brunadas devido ao enriquecimento de matéria orgânica.

Figura 1 - Mapa da precipitação média anual acumulada para o estado do Espírito Santo (1977-2006). Foco para os municípios de Santa Maria de Jetibá, Domingos Martins, Afonso Cláudio e Venda Nova do Imigrante



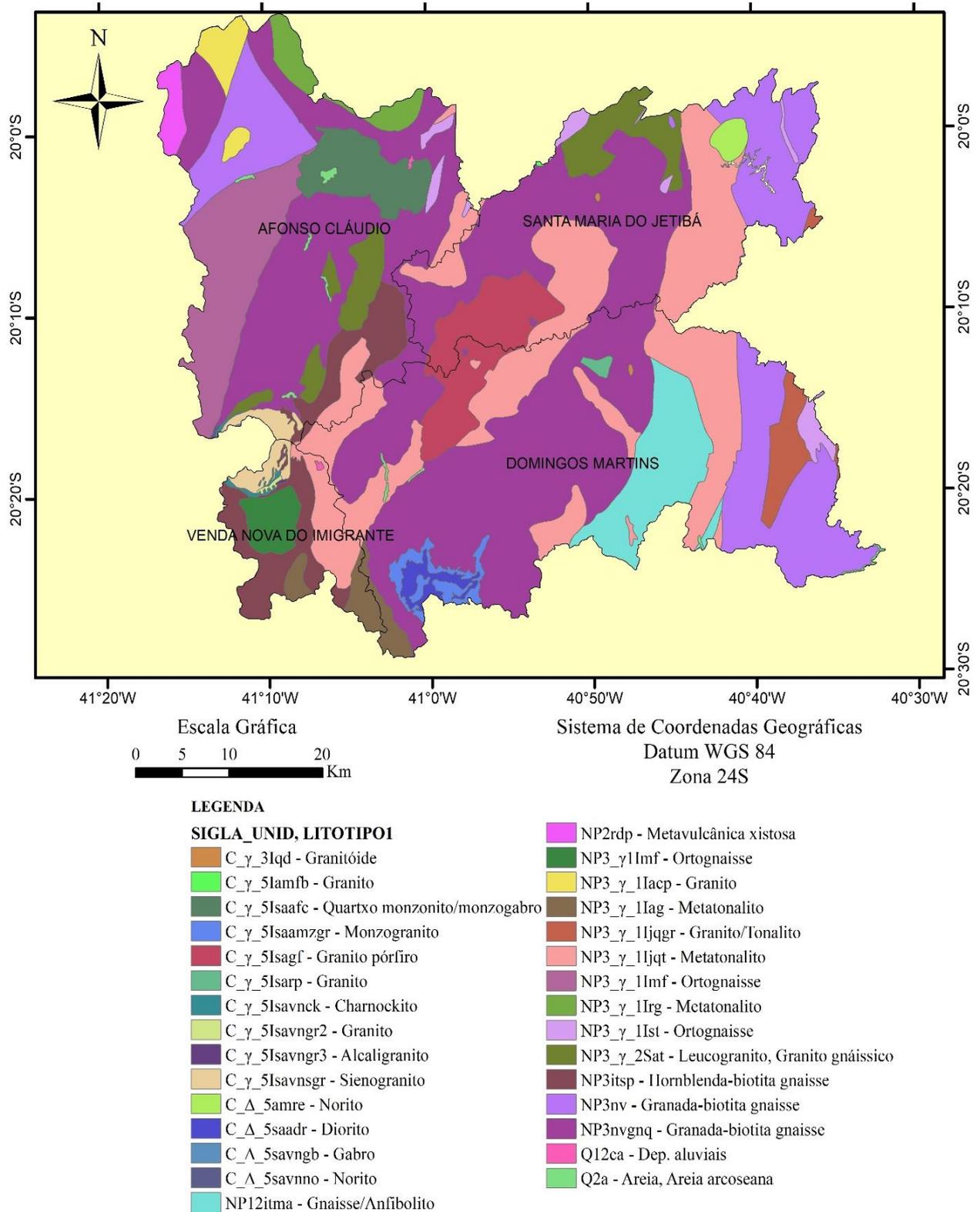
Fonte: Adaptado de Instituto Jones dos Santos Neves – IJSN (2011)

Figura 2 - Mapa da temperatura média anual registrada no estado do Espírito Santo (1977-2006). Foco para os municípios de Santa Maria de Jetibá, Domingos Martins, Afonso Cláudio e Venda Nova do Imigrante



Fonte: Adaptado de Instituto Jones dos Santos Neves – IJSN (2011)

Figura 3 - Geologia das áreas estudadas



Fonte: Jenesca Florencio Vicente de Lima (2020)

O estudo foi conduzido em 4 diferentes sistemas de uso e manejo do solo, sendo eles: mata nativa (MT), cultivo convencional (CV), cultivo orgânico (CO) e cultivo semiconvencional (SC). O sistema de manejo convencional na região do presente estudo é caracterizado pela maior frequência no revolvimento do solo, com arações e gradagens a cada troca de cultivo, uso regular de adubos químicos para correção da fertilidade e também adubação orgânicas em determinadas propriedades. É feito o controle químico de pragas e doenças, alguns produtores fazem aplicações preventivas enquanto outros aplicam simultaneamente ao aparecimento destas. Todas as 13 áreas agrícolas estudadas promovem a rotação de culturas, sejam elas no manejo convencional, orgânico ou semiconvencional. Além disso, algumas áreas de manejo convencional são caracterizadas pelo cultivo em nível (sob terraços).

No sistema de manejo orgânico todas as áreas são certificadas e é preconizada a maior sustentabilidade dos agroecossistemas com menor revolvimento do solo, no qual, o preparo deste é feito a partir de microtratores. Em algumas áreas orgânicas o preparo do solo não é feito a cada troca de cultivo, sendo refeitos apenas os canteiros. Utilizam apenas adubação orgânica provenientes principalmente de esterco compostado de boi e frango. O controle de pragas e doenças segue as premissas da legislação de produtos orgânicos e só é feito concomitante ao aparecimento destas. Promovem a biodiversidade vegetal, adotam práticas de pousio e adubação verde.

O sistema de manejo semiconvencional pode ser caracterizado como um meio-termo ou transicional entre os sistemas de manejo convencional e orgânico. Fazem o preparo do solo por meio de práticas como aração e gradagem, utilizam adubos químicos e, o controle químico de pragas e doenças é feito simultâneo ao aparecimento destas, nunca de maneira preventiva. A diferença está em como os cultivos são conduzidos e nas práticas de manejo adotadas. Uma das áreas se destaca pela rotação de cultura com pastagens, as quais são comprovadamente benéficas para estrutura edáfica e promovem o incremento de carbono ao solo. Também se sobressai pelo tempo prolongado de pousio, no qual os cultivos são sempre conduzidos em áreas diferentes da propriedade. Recomendações como conduzir o preparo do solo perpendicular à declividade do terreno também são

praticadas. Outras práticas como grande diversidade de cultivos coexistindo em uma mesma área também foram observadas, assim como adubação orgânica.

Ao todo foram caracterizadas 14 áreas, sendo 13 de propriedades rurais e uma área de mata. Nas propriedades rurais foram coletadas amostras em áreas com cultivo de tomate, pimentão, repolho, inhame, couve-flor e hortaliças folhosas.

Tabela 1 - Usos, localização, características e históricos de manejo das áreas de estudo na região serrana do ES

Área	Uso atual	Localização, características e histórico de manejo
1-CV	Pimentão	Situada no município de Santa Maria de Jetibá. Há 15 anos o solo é utilizado para produção agrícola. Anteriormente ao cultivo de pimentão, foram cultivados repolho e tomate. O preparo do solo é feito com aração e gradagem, a fertilidade corrigida através de calagem e adubação química, sendo o preparo e a correção do solo feitos a cada troca de cultivo. A irrigação é por gotejamento. É feito controle químico de pragas e doenças simultâneo ao aparecimento destas. São empregadas práticas como rotação de cultura, pousio curto, adubação orgânica com esterco compostado de boi e frango em todos os cultivos. Área de baixada com declividade < 3%.
2-CV	Tomate	Situada no município de Santa Maria de Jetibá. Há 40 anos o solo é utilizado para produção agrícola. Anteriormente ao cultivo de tomate, foram cultivados batata, repolho e couve-flor. O preparo do solo é feito com aração e gradagem, a fertilidade corrigida através de adubação química, ambas as práticas efetuadas a cada troca de cultivo, sendo a calagem realizada eventualmente. A irrigação é por gotejamento. É feito controle químico de pragas e doenças simultâneo ao aparecimento destas. São empregadas práticas como rotação de cultura, pousio (vegetação espontânea ou leguminosas), adubação orgânica com esterco compostado de frango em todos os cultivos. Área de baixada com declividade < 3%.
3-CV	Repolho	Situada no município de Santa Maria de Jetibá. Há 25 anos o solo é utilizado para produção agrícola. Anteriormente ao cultivo de repolho, foram cultivados milho e feijão. O preparo do solo é feito com aração e gradagem, a fertilidade corrigida através de calagem e adubação química, sendo o preparo e a correção do solo feitos a cada troca de cultivo. A irrigação é por aspersão. É feito controle químico de pragas e doenças simultâneo ao aparecimento destas. São empregadas práticas como rotação de cultura, pousio, adubação orgânica com esterco compostado de frango em todos

		os cultivos. Área de relevo suave ondulado com declividade de 3-8%. O Preparo do solo é no sentido da declividade do terreno.
4-CV	Pimentão	Situada no município de Domingos Martins. Há 40 anos o solo é utilizado para produção agrícola. Anteriormente ao cultivo do pimentão, foram cultivados batata e tomate. O preparo do solo é feito com enxada rotativa a cada troca de cultivo, subsolagem eventualmente e efetuada fertirrigação semanal. É feito controle químico de pragas e doenças com aplicação preventiva de 1 ou mais vezes na semana. São empregadas práticas como rotação de cultura, adubação orgânica com esterco compostado de frango em todos os cultivos. Área de relevo ondulado com declividade de 8-20%. O Preparo do solo é no sentido da declividade do terreno.
5-CV	Pimentão	Situada no município de Afonso Cláudio. Há mais de 10 anos o solo é utilizado para produção agrícola. Anteriormente ao cultivo do pimentão, foram cultivados tomate, feijão e milho. A implantação da cultura é em curvas de nível (terraceamento). A fertilidade do solo é corrigida através de calagem e adubação química a cada troca de cultivo. A irrigação é por gotejamento. É feito controle químico de pragas e doenças com aplicação preventiva de 2 a 3 vezes na semana. É empregada a prática de rotação de cultura utilizando milho e feijão principalmente. Área de relevo forte ondulado com declividade de 20-45%.
6-CV	Tomate	Situada no município de Afonso Cláudio. Há 30 anos o solo é utilizado para produção agrícola. Anteriormente ao cultivo de tomate, foram cultivados milho, feijão, batata, repolho e inhame. O preparo do solo é feito com enxada rotativa a cada troca de cultivo e efetuada subsolagem eventualmente. A fertilidade do solo é corrigida através de calagem e adubação química a cada troca de cultivo. A irrigação é por gotejamento. É feito controle químico de pragas e doenças com aplicação preventiva 3 vezes na semana. É empregada a prática de rotação de cultura. Área de baixada com declividade < 3%.
7-CV	Tomate	Situada no município de Domingos Martins. Há mais de 10 anos o solo é utilizado para produção agrícola. Anteriormente ao cultivo de tomate, foram cultivados pimentão, feijão e milho. A implantação da cultura é em curvas de nível (terraceamento). A fertilidade do solo é corrigida através de calagem e adubação química a cada troca de cultivo. A irrigação é por gotejamento. É feito controle químico de pragas e doenças com aplicação preventiva 3 vezes na semana. É empregada a prática de rotação de cultura. Área de relevo forte ondulado com declividade de 20-45%.

8-CV	Inhame	<p>Situada no município de Domingos Martins. Há 30 anos o solo é utilizado para produção agrícola. Anteriormente ao cultivo de inhame, foram cultivados milho, feijão, pimentão e morango. O preparo do solo é feito com aração a cada troca de cultivo, a fertilidade corrigida através de calagem e adubação química, sendo a calagem efetuada eventualmente. A irrigação é por aspersão. É feito controle químico de pragas e doenças simultâneo ao aparecimento destas. São empregadas práticas como rotação de cultura, pousio, adubação orgânica com esterco compostado de frango em todos os cultivos. Área de baixada com declividade < 3%.</p>
1-SC	Repolho	<p>Situada no município de Santa Maria de Jetibá. Há 40 anos o solo é utilizado para produção agrícola. Anteriormente ao cultivo de repolho, foram cultivados beterraba, gengibre, couve-flor, milho, feijão, alho, brócolis, pimentão. O preparo do solo é feito com aração, a fertilidade corrigida através de calagem e adubação química, sendo o preparo e a correção do solo efetuados a cada troca de cultivo. A irrigação é por aspersão. É feito controle químico de pragas e doenças simultâneo ao aparecimento destas. São empregadas práticas como rotação de cultura (incluindo pastagens), pousio, adubação orgânica com esterco compostado de frango em todos os cultivos. A propriedade é caracterizada pelo cultivo simultâneo de diversas culturas em diferentes glebas. Área de relevo suave ondulado com declividade 3-8%.</p>
2-SC	Tomate	<p>Situada no município de Venda Nova do Imigrante. Há mais de 10 anos o solo é utilizado para produção agrícola. Anteriormente ao cultivo de tomate, foram cultivados pastagem e milho. O preparo do solo é feito com aração e gradagem, a fertilidade corrigida através de calagem e adubação química, sendo o preparo e a correção do solo feitos a cada troca de cultivo. A irrigação é por gotejamento. É feito controle químico de pragas e doenças simultâneo ao aparecimento destas. São empregadas práticas como rotação de cultura e pousio longo (\pm 2 anos com pastagem – braquiária), “cultivos nômades” - cultivos conduzidos em diferentes áreas dentro da propriedade. Área de relevo ondulado com declividade 8-20%. Preparo do solo perpendicular à declividade do terreno.</p>
1-CO	Tomate	<p>Situada no município de Santa Maria de Jetibá. Há 20 anos o solo é utilizado para produção agrícola. Anteriormente ao cultivo de tomate, foram cultivados berinjela, quiabo, morango. O preparo do solo é feito com microtrator (tobata) a cada troca de cultivo, a fertilidade corrigida através de adubação orgânica a cada troca de cultivo. A irrigação é por gotejamento. O controle de pragas e</p>

doenças é simultâneo ao aparecimento destas e de acordo com a legislação de produtos orgânicos. São empregadas práticas como rotação de cultura, pousio, adubação orgânica com esterco compostado de boi e frango em todos os cultivos, cultivo protegido (estufas). A propriedade é caracterizada pela diversidade de culturas ao redor das estufas, principalmente de plantas aromáticas, medicinais e flores. Área de baixada com declividade < 3%.

2-CO	Tomate	<p>Situada no município de Santa Maria de Jetibá. Há 12 anos o solo é utilizado para produção agrícola. Anteriormente ao cultivo de tomate, foi cultivado pepino. O preparo do solo é feito com microtrator (tobata) e preparo manual, caso seja necessário refazer os canteiros, a fertilidade é corrigida através de adubação orgânica a cada troca de cultivo e periodicamente durante o cultivo. A irrigação é por gotejamento. O controle de pragas e doenças é simultâneo ao aparecimento destas e de acordo com a legislação de produtos orgânicos. São empregadas práticas como rotação de cultura, pousio, adubação orgânica com esterco compostado de boi e frango em todos os cultivos, cultivo protegido (estufas), adubação verde ou uso de plantas de cobertura (crotalaria juncea), aplicação de carvão vegetal oriundo de carvoaria local aplicado eventualmente. Área de baixada com declividade < 3%.</p>
3-CO	<p>Alface crespa, roxa e lisa, cebolinha, brócolis, couve- flor, rúcula</p>	<p>Situada no município de Santa Maria de Jetibá. Há 15 anos o solo é utilizado para produção agrícola. Anteriormente ao cultivo de alface crespa, roxa e lisa, cebolinha, brócolis, couve-flor, rúcula, foram cultivadas hortaliças folhosas (couve, alho-poró, salsinha, agrião, mostarda). O preparo do solo é feito com aração em nível (perpendicular à declividade do terreno) com microtrator, a fertilidade é corrigida através de adubação orgânica, sendo o preparo e a adubação feitos a cada troca de cultivo. A irrigação é por aspersão. O controle de pragas e doenças é simultâneo ao aparecimento destas e de acordo com a legislação de produtos orgânicos. São empregadas práticas como rotação de cultura, pousio, adubação orgânica com esterco compostado de frango em todos os cultivos, adubação verde ou uso de plantas de cobertura (crotalaria juncea). Área de relevo ondulado com declividade de 8-20%.</p>
MT	-	<p>Situada no município de Domingos Martins. Área de mata há mais de 50 anos. Aproximadamente 5 anos atrás, foi frequentada por alguns bovinos. Desde então permanece cercada. Relevo ondulado com declividade de 8-20%.</p>

Foram selecionadas 8 áreas produtoras de hortaliças sob o sistema de manejo convencional, 2 áreas semiconvencionais, 3 áreas orgânicas, e uma área de mata. A diferença no número de áreas dentre os manejos ocorreu devido à disponibilidade de propriedades produtoras de hortaliças que foram apresentadas pelos colaboradores. Neste caso, houve maior abundância de áreas sob manejo convencional em detrimento às áreas sob manejo orgânico e semiconvencional.

2.2. Amostragem e preparo das amostras

A coleta de solo para a caracterização química e física foi realizada no final da estação do verão e início do outono no ano de 2019. As áreas selecionadas foram divididas em três e quatro unidades amostrais, dependendo do tamanho de cada área.

O solo foi coletado por meio de trado holandês na profundidade de 0-20 cm, representando a região da rizosfera e 60-80 cm para investigar se houve incremento de nutrientes e acúmulo de elementos-traço em profundidade, ambos na linha de plantio. Foram coletadas 9 amostras simples por unidade amostral que, após serem homogeneizadas originaram uma amostra composta deformada, resultando no total de 44 amostras (3 a 4 por unidade amostral) em cada profundidade.

As amostras deformadas de solo coletadas na profundidade de 0-20 cm foram utilizadas para a determinação das análises de granulometria, densidade de partículas do solo (D_p), matéria orgânica leve em água (MOL) e, para as análises químicas do solo. As amostras coletadas na profundidade de 60-80 cm foram utilizadas para análise de rotina, granulometria e determinação do teores de elementos-traço. As análises foram realizadas nos laboratórios de solos da UFES-Campus Alegre.

As amostras indeformadas de solo foram coletadas na profundidade de 0-20 cm, utilizando-se cilindros volumétricos de Koppec, com auxílio de amostrador de Uhland, para determinação da densidade do solo (D_s), porosidade total (PT), macroporosidade e microporosidade. Também foram coletadas amostras indeformadas de solo em cada unidade amostral utilizando enxadão na profundidade de 0-20 cm para análise dos agregados.

2.3. Análises físicas do solo

A análise granulométrica foi realizada em agitador do tipo Wagner por agitação lenta a 50 rpm por 16 horas, com adição de dispersante químico NaOH 0,1 mol L⁻¹. A fração argila foi determinada pelo método da pipeta e a fração silte foi calculada por diferença. Para determinação da argila dispersa em água (ADA), também foi utilizada agitação lenta a 50 rpm por 16 horas, sem presença de dispersante químico, apenas em água. O grau de floculação (GF) foi calculado a partir da ADA e da argila total (EMBRAPA, 2017).

A densidade do solo (Ds) foi determinada pelo método do cilindro volumétrico, obtido pela razão entre massa de solo seco em estufa e o volume de cada cilindro. A densidade de partículas do solo (Dp) foi mensurada pelo método do balão volumétrico. Para calcular a porosidade total (PT), macroporosidade (MAC) e microporosidade (MIC) foi utilizada mesa de tensão, de acordo com EMBRAPA (2017).

O diâmetro médio ponderado (DMP) foi analisado a partir dos torrões, os quais foram fragmentados e transpassados em peneira de 9,52 mm de abertura de malha. A partir de então, a amostra foi submetida à vibração vertical em um conjunto de peneiras com diferentes aberturas e o DMP é determinado pelo método de via seca (EMBRAPA, 2017).

A resistência do solo à penetração foi determinada por meio de medidor eletrônico de compactação de solo - penetrológ da Falker, na profundidade de 0-60 cm.

2.4. Análises químicas do solo

O pH do solo (acidez ativa) foi determinado em água com proporção de 1:25 de solo-solução. Os cátions trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺) foram extraídos utilizando-se solução extratora de KCl 1,0 mol L⁻¹. Os teores de cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) foram determinados por espectroscopia de absorção atômica e o alumínio (Al³⁺) por titulometria com NaOH 0,025 mol L⁻¹. O potássio trocável (K⁺), sódio trocável (Na⁺) e fósforo disponível (P) foram extraídos com extrator de Mehlich⁻¹. Sódio e potássio

tiveram seus teores mensurados em fotômetro de chama. O fósforo foi determinado por colorimetria e a leitura obtida no espectrofotômetro. A acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) foi extraída com solução de acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ tamponada a pH 7 e determinada por titulação com NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ (EMBRAPA, 2017).

A partir dos resultados das análises de rotina, foram calculadas a soma de bases (valor S), a capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases (V%).

Os teores de carbono orgânico total (COT) foram quantificados por oxidação via úmida através de dicromato de potássio mais ácido sulfúrico e a determinação feita por meio de titulação com sulfato ferroso amoniacal, conforme descrito por Mendonça e Matos (2017).

Os teores de elementos-traço foram quantificados conforme método de água régia invertida descrito em USEPA 3051A (2007). Foram pesados 0,5 g de cada amostra e adicionados 9ml de HNO_3 concentrado + 3 ml HCl concentrado e realizada a digestão das amostras em forno micro-ondas. Para a determinação dos teores foi utilizado espectrofotômetro de absorção atômica GBC-SAVANTAA. Foram analisados os teores de arsênio (As), chumbo (Pb), zinco (Zn), cobre (Cu), cádmio (Cd), cobalto (Co) e crômio (Cr), os quais obtiveram as seguintes taxas de recuperação: 80%, 100%, 88%, 85%, 86%, 101% e 119%, respectivamente.

2.5. Análise estatística

A análise de agrupamentos foi realizada utilizando o método de Ward e a matriz de similaridade da distância euclidiana padronizada para avaliar os grupos com diferentes níveis de degradação. Utilizou-se o ponto de corte de 50% de similaridade como critério para definição dos grupos. Os procedimentos estatísticos foram realizados no Software R (R Development Core Team, 2012).

3. RESULTADOS

3.1. Análises físicas dos solos

A caracterização textural dos solos encontra-se na Tabela 2. As áreas em estudo apresentaram valores elevados de argila, conferindo-lhes texturas entre média e muito argilosa. No geral, a classificação textural foi semelhante nas duas profundidades avaliadas. Na camada considerada para produção de hortaliças (0-20 cm), 64% das áreas apresentaram textura argilosa, 29% com textura muito argilosa e apenas 7% apresentou textura média. Na profundidade de 60-80 cm os percentuais das áreas classificadas com textura argilosa, muito argilosa e média foram 50%, 43% e 7%, respectivamente.

Tabela 2 - Caracterização textural das áreas cultivadas com hortaliças em diferentes tipos de manejo do solo, nas profundidades de 0-20 e 60-80 cm

Áreas	AG (%)	AF (%)	ARG (%)	S (%)	Classificação
0-20 cm					
1-CV	42,73	12,02	38,81	6,45	Argilosa
2-CV	36,57	23,05	32,41	7,98	Textura média
3-CV	47,60	11,79	35,05	5,55	Argilosa
4-CV	19,64	11,42	61,96	6,98	Muito Argilosa
5-CV	12,48	9,04	66,52	11,95	Muito Argilosa
6-CV	22,69	16,75	46,49	14,08	Argilosa
7-CV	17,75	12,11	56,38	13,77	Argilosa
8-CV	38,87	15,33	34,92	10,88	Argilosa
1-SC	24,01	7,14	59,84	9,01	Argilosa
2-SC	22,47	4,76	66,89	5,88	Muito Argilosa
1-CO	39,16	7,66	46,52	6,65	Argilosa
2-CO	43,67	8,74	37,36	10,22	Argilosa
3-CO	27,35	8,63	55,72	8,30	Argilosa
MT	9,77	7,36	71,62	11,26	Muito Argilosa
60-80 cm					
1-CV	43,10	12,19	41,05	3,65	Argilosa
2-CV	40,17	26,37	26,77	6,69	Textura média
3-CV	41,74	10,08	42,42	5,76	Argilosa
4-CV	17,72	11,07	68,80	2,40	Muito Argilosa
5-CV	10,53	8,72	74,39	6,36	Muito Argilosa
6-CV	17,14	16,85	58,00	8,02	Argilosa
7-CV	15,26	11,76	67,57	5,41	Muito Argilosa
8-CV	30,37	16,91	43,12	9,60	Argilosa
1-SC	16,21	6,78	47,43	29,58	Argilosa
2-SC	20,39	6,58	68,46	4,58	Muito Argilosa
1-CO	29,19	7,18	58,91	4,71	Argilosa
2-CO	45,53	10,15	36,15	8,16	Argilosa
3-CO	26,77	7,98	62,25	3,00	Muito Argilosa
MT	8,15	6,69	72,67	12,49	Muito Argilosa

AG = areia grossa; AF = areia fina; ARG = argila; S = silte.

Os resultados de diâmetro médio ponderado (DMP) variaram de 1,4 a 2,6 mm (Tabela 3). Dez das quatorze áreas apresentaram diâmetro superior a 2mm, com destaque para as áreas 1-SC, MT, 8-CV. Em geral, o resultado da maioria dos agregados revela boa estruturação dos solos. As áreas que apresentaram valores abaixo de 2 mm, tais como: 1-CV, 2-CV, 3-CV e 4-CV são áreas convencionais cujo solo é revolvido frequentemente, o que compromete a melhor estruturação do solo.

Os percentuais de grau de flocculação (GF) foram de 51% a 82%, destacando-se as áreas 2-SC, 4-CV e MT. As áreas 3-CV, 2-CV e 1-CV obtiveram os menores percentuais de GF. MT obteve o maior resultado (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores de GF e DMP na profundidade de 0-20 cm

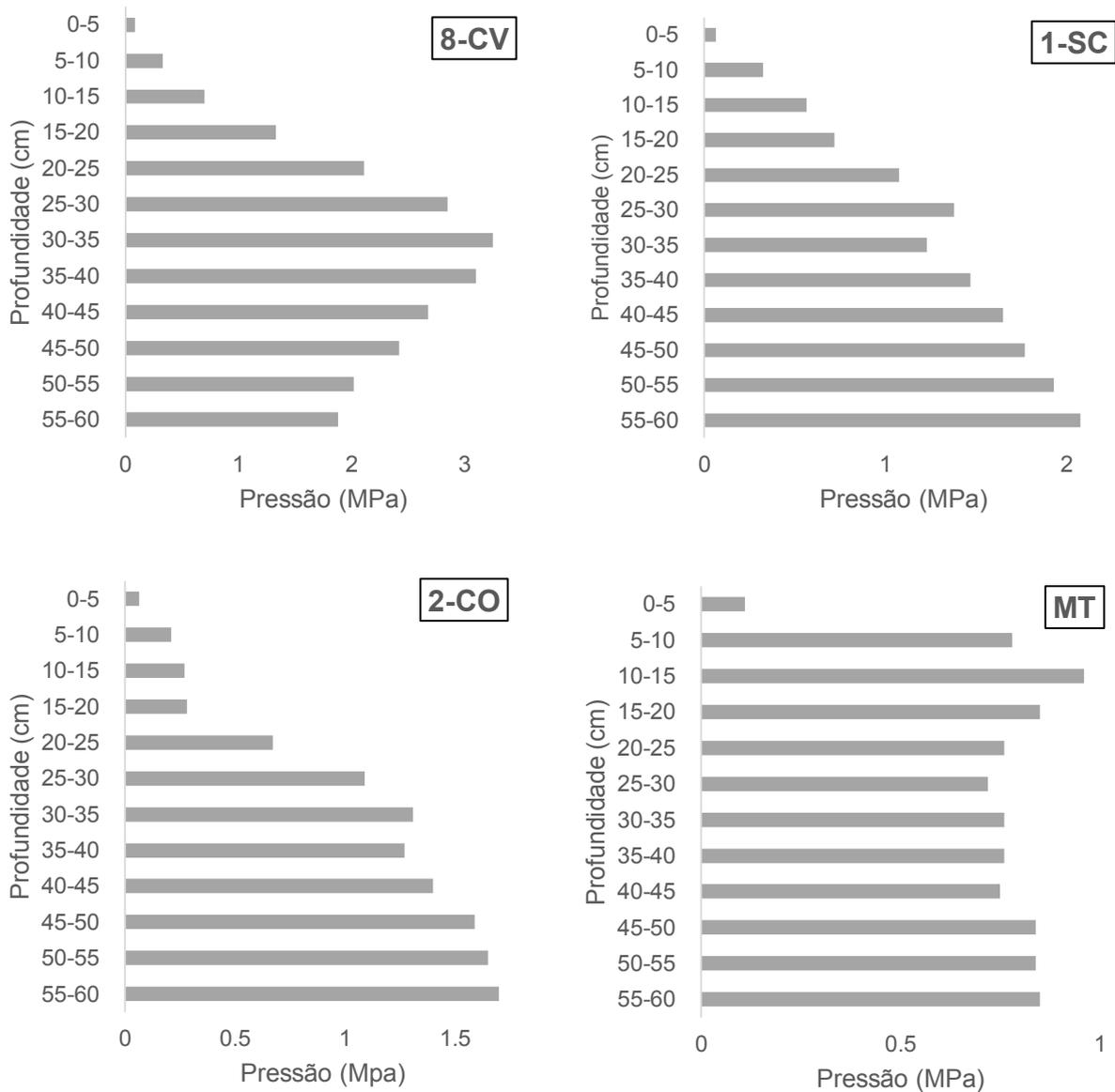
Áreas	GF %	DMP mm
1-CV	57,30	1,41
2-CV	52,00	1,65
3-CV	51,43	1,74
4-CV	80,55	1,76
5-CV	63,57	2,09
6-CV	60,86	2,37
7-CV	78,79	2,00
8-CV	58,89	2,39
1-SC	58,23	2,61
2-SC	80,67	2,32
1-CO	62,44	2,29
2-CO	64,43	2,14
3-CO	71,48	2,28
MT	80,16	2,55

GF = grau de flocculação; DMP = diâmetro médio ponderado.

Para a resistência à penetração média (RPM) observaram-se valores variando de 0,75 a 3,4 MPa na profundidade de 0-60 cm (Figura 5). Os maiores valores foram nas áreas 8-CV e 6-CV com medições de 3,4 e 2,7 MPa, respectivamente. Já os menores

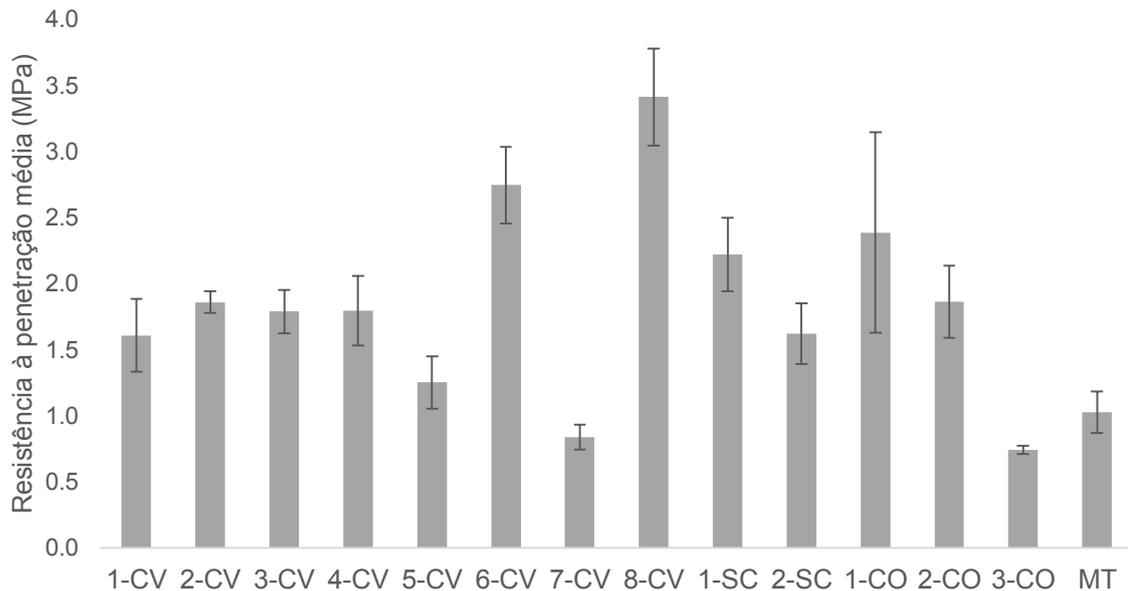
valores obtidos foram nas áreas 3-CO, 7-CV e MT com 0,75, 0,84 e 1,0 MPa, respectivamente. Para a maioria das áreas ocorreu aumento da resistência à penetração média nas camadas logo abaixo da camada arável, nas quais foi exercida pressão máxima (Figura 4). Quando analisam os valores em conjunto, ou seja, os valores médios, as áreas orgânicas apresentam menor resistência à penetração em relação às outras áreas. A média para as áreas de manejo orgânico foi de: 1,67 MPa, ao passo que, para as de manejo convencional foi de 1,92 MPa e para as áreas semiconvencionais foi de 1,93 MPa.

Figura 4 - Valores de resistência à penetração média do solo nas áreas 8-CV, 1-SC, 2-CO e MT, na profundidade de 0-60 cm e o aumento da RMP logo abaixo da camada arável observada na maioria das áreas sob os diferentes manejos



Considerando o valor de resistência à penetração do solo de 2 MPa, utilizado frequentemente como crítico para o desenvolvimento de plantas, apenas quatro áreas obtiveram valores acima de 2 Mpa (6-CV, 8-CV, 1-SC e 1-CO), entretanto, a pressão máxima foi exercida em maiores profundidades, o que não configura grandes problemas para a produção de hortaliças.

Figura 5 - Valores de resistência à penetração média de solos cultivados com hortaliças na região serrana do Espírito Santo na profundidade de 0-60 cm



Os valores de densidade do solo (D_s) variaram entre 0,82 e 1,47 kg dm^{-3} , dentre os quais os menores valores foram verificados nas áreas MT, 5-CV, 2-SC e 1-CV na profundidade de 0-20 cm. Já os maiores valores obtidos para densidade foram nas áreas 8-CV, 6-CV e 3-CO com valores de 1,47; 1,39 e 1,28, respectivamente (Figura 6).

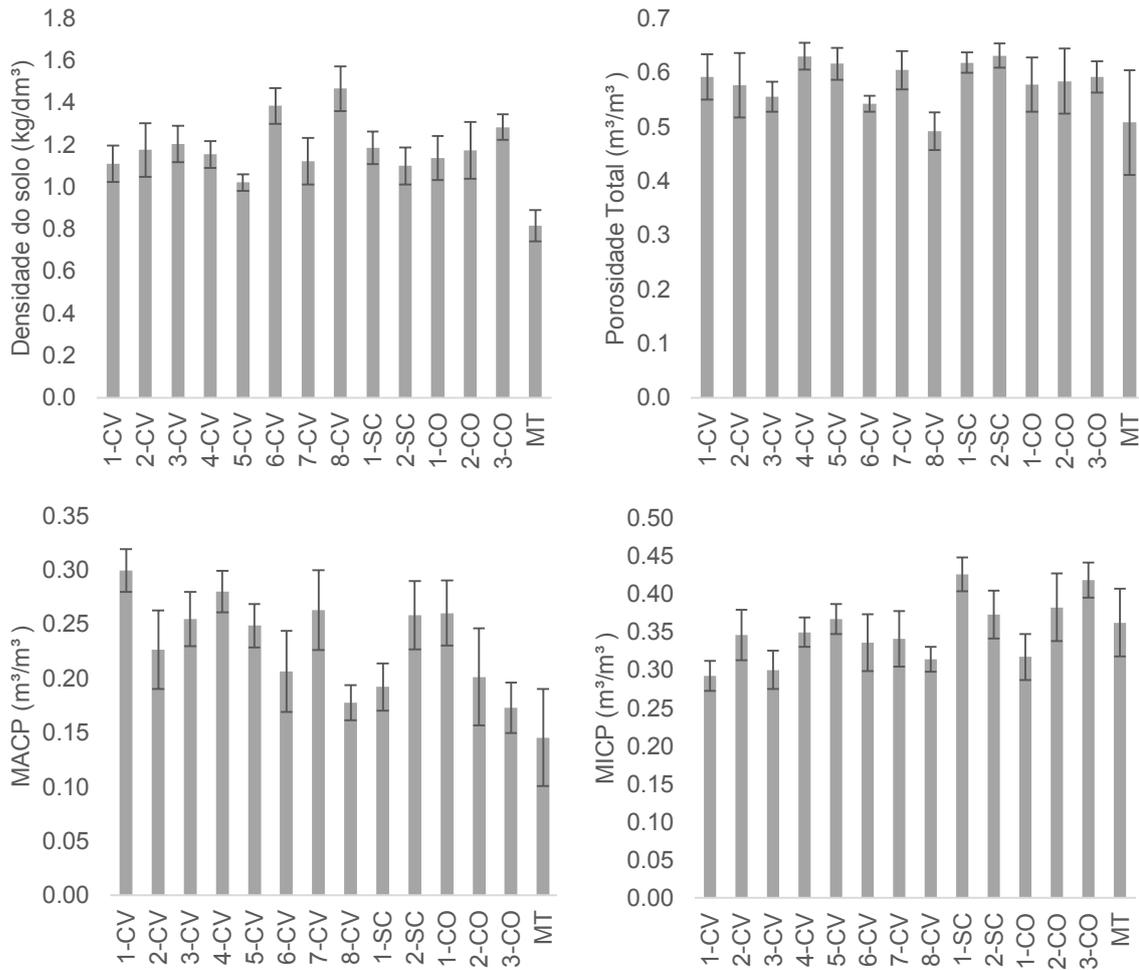
A porosidade total (PT) variou de 49 a 63%. As áreas que apresentaram maiores valores de PT foram 2-SC, 4-CV, 1-SC e 5-CV com valores de 0,63; 0,63; 0,62 e 0,61 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, respectivamente (Figura 6).

Para macroporosidade (MACP) as áreas 1-CV e 4-CV apresentaram os maiores valores, em torno de 0,29 e 0,28 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$. Quanto à microporosidade (MICP), 1-SC e 3-CO apresentaram valores maiores de MICP e menores valores de MACP em razão de terem apresentado maior teor de argila. Para MACP, nota-se que todas as áreas apresentam valores de macroporos superiores a 0,10 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, valor considerado restritivo ao desenvolvimento das culturas (Figura 6).

Os valores de densidade de partículas variaram de 2,43 a 2,83 kg dm^{-3} , com média de 2,63 kg dm^{-3} , refletindo os constituintes minerais predominantes no solo, sendo

eles: quartzo, feldspatos e silicatos de alumínio, cujas densidades de partículas estão em torno de $2,65 \text{ kg dm}^{-3}$.

Figura 6 - Valores de densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade de solos cultivados com hortaliças na região serrana do Espírito Santo, na profundidade de 0-20 cm



3.2. Análises químicas dos solos

Os dados referentes às análises de fertilidade do solo das áreas estudadas encontram-se na Tabela 4. Os valores de pH (acidez ativa) variaram de 3,98 a 7,41 na profundidade de 0-20 cm. O menor valor apresentado foi para MT e, os maiores foram obtidos nas áreas 2-CO e 3-CO. Considerando as propriedades agrícolas, as áreas apresentaram classificação de acidez entre média (5,0 – 5,9), e fraca (6,0 a 6,9)

e pH na faixa da alcalinidade (7,4). Já na profundidade de 60-80 cm, a acidez pode ser classificada como média (5,0 – 5,9) (PREZOTTI et al., 2007).

Os teores de fósforo disponível (P) foram elevados na profundidade de 0-20 cm, sendo que 100% das áreas agrícolas apresentaram valores bem acima do nível considerado alto, de acordo com a classificação de Prezotti et al., (2007). O menor valor encontrado foi na área MT com 1,83 mg dm⁻³. Já nas áreas agrícolas o P variou de 127 a 458 mg dm⁻³. Na camada de 60-80 cm houve diminuição dos teores de P devido ao efeito da adubação se restringir à camada superficial do solo (0-20 cm), bem como devido à sua baixa mobilidade no solo.

Os teores de potássio disponível (K) variaram de 31 a 338 mg dm⁻³. 35,7% das áreas estão com os teores de K considerados baixos (<80 mg dm⁻³), 50% apresentam teor classificado como médio (80-200 mg dm⁻³) e 14,3% das áreas possuem teor de K considerado alto (>200 mg dm⁻³). Em profundidade os teores de K variaram de baixo a alto, sendo a maioria das áreas classificadas com teor baixo (PREZOTTI et al., 2007).

De acordo com Prezotti et al., (2007), os teores de cálcio (Ca) de todas as áreas na profundidade de 0-20 cm, foram classificados como altos, exceto na área MT, a qual obteve classificação baixa de Ca. Em profundidade, na maioria das áreas os teores de Ca diminuíram apresentando teores médios. Para magnésio (Mg) foi predominante níveis médios na camada mais próxima à superfície e na profundidade de 60-80 cm, tal como observado para o Ca, os níveis de Mg também diminuíram.

A acidez trocável (Al) obteve valores iguais a zero para todas as áreas na profundidade de 0-20 cm, com exceção da MT que apresentou 1,9 cmol_c dm⁻³. Em profundidade, algumas áreas apresentaram baixo nível de acidez trocável enquanto a outra parcela também apresentou valores iguais a zero.

Os valores de soma de bases (S) variaram de 0,08 a 11,41 cmol_c dm⁻³. As áreas 2-CO, 6-CV e 1-CO obtiveram os maiores valores, sendo eles: 11,41; 9,17 e 8,84 cmol_c dm⁻³, respectivamente.

Com relação à capacidade de troca catiônica (valor T ou CTC) a MT obteve destaque em relação às áreas agrícolas, apresentando o maior valor de $19,16 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. A área com menor valor T foi a 1-SC com $7,80 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Nas áreas agrícolas do estudo, a saturação por bases (V%) variou de 36,6 a 95,5%, sendo a menor na área 1-CV e a maior na 2-CO. Os maiores valores de saturação por bases foram observados nas áreas de cultivo orgânico (2-CO, 1-CO e 3-CO) (Tabela 4).

Tabela 4 - Caracterização química das áreas cultivadas com hortaliças em diferentes manejos do solo nas profundidades de 0-20 cm e 60-80 cm

Áreas	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	S	T	V
	-----mg/dm ³ -----			-----cmolc/dm ³ -----							%
0-20 cm											
1-CV	5.51	270.0	114.0	0.00	4.80	0.20	0.00	9.30	5.24	14.50	36.56
2-CV	6.25	400.0	152.0	0.01	7.40	0.60	0.00	3.24	8.37	11.60	71.74
3-CV	6.32	319.0	179.0	0.01	6.80	1.00	0.00	2.59	8.23	10.80	76.21
4-CV	5.40	226.0	71.0	0.00	6.60	0.60	0.00	5.06	7.32	12.40	58.37
5-CV	6.10	300.0	136.0	0.00	6.40	0.90	0.00	4.73	7.66	12.40	62.02
6-CV	5.95	458.0	204.0	0.00	7.70	1.00	0.00	4.95	9.16	14.10	64.92
7-CV	5.60	284.0	179.0	0.00	6.90	1.20	0.00	7.92	8.62	16.50	52.16
18-CV	6.57	279.0	174.0	0.01	5.70	0.60	0.00	1.54	6.78	8.30	81.30
1-SC	6.62	131.0	179.0	0.00	4.40	0.70	0.00	2.31	5.49	7.80	70.56
2-SC	6.10	127.0	66.0	0.00	5.30	0.80	0.00	4.89	6.17	11.00	55.71
1-CO	6.58	377.0	79.0	0.02	7.90	0.80	0.00	1.69	8.84	10.50	84.10
2-CO	7.41	435.0	338.0	0.04	8.30	1.80	0.00	0.50	11.40	12.00	95.52
3-CO	7.10	140.0	57.0	0.00	7.50	0.60	0.00	1.38	8.17	9.60	85.60
MT	3.98	1.8	31.0	0.00	0.39	0.18	1.90	19.09	0.08	19.00	3.32

60-80 cm											
1-CV	5.13	12.48	57.67	0.00	2.51	0.26	0.00	8.25	2.92	11.17	26.71
2-CV	5.90	60.22	43.67	0.00	1.83	0.19	0.00	9.24	2.14	11.38	19.50
3-CV	5.56	45.95	54.33	0.00	2.57	0.39	0.00	7.20	3.11	10.31	31.37
4-CV	5.29	29.20	25.67	0.00	2.48	0.27	0.00	8.80	2.82	11.62	24.67
5-CV	5.03	25.52	97.67	0.00	2.60	0.31	0.17	7.15	3.16	10.31	30.90
6-CV	5.07	93.92	44.33	0.67	5.04	0.58	0.00	8.14	6.39	14.53	43.57
7-CV	5.46	29.70	90.67	0.00	2.38	0.44	0.27	11.22	3.05	14.27	21.39
8-CV	5.79	7.94	29.33	0.00	2.35	0.02	0.00	3.74	2.44	6.18	38.70
1-SC	5.52	8.92	62.33	0.00	6.85	0.20	0.00	6.33	7.21	13.54	51.83
2-SC	5.42	5.78	59.33	0.00	1.70	0.29	0.20	7.04	2.14	9.18	24.82
1-CO	5.85	51.54	104.25	0.00	3.88	0.34	0.00	3.88	4.50	8.37	53.67
2-CO	5.65	105.71	205.75	0.00	2.65	0.30	0.00	1.90	3.48	5.38	65.13
3-CO	5.60	12.98	124.00	0.00	3.46	0.19	0.00	6.71	3.97	10.68	37.48
MT	5.06	2.12	10.67	0.00	0.21	0.17	0.37	9.35	0.20	9.55	4.19

3.3. Teores de elementos-traço

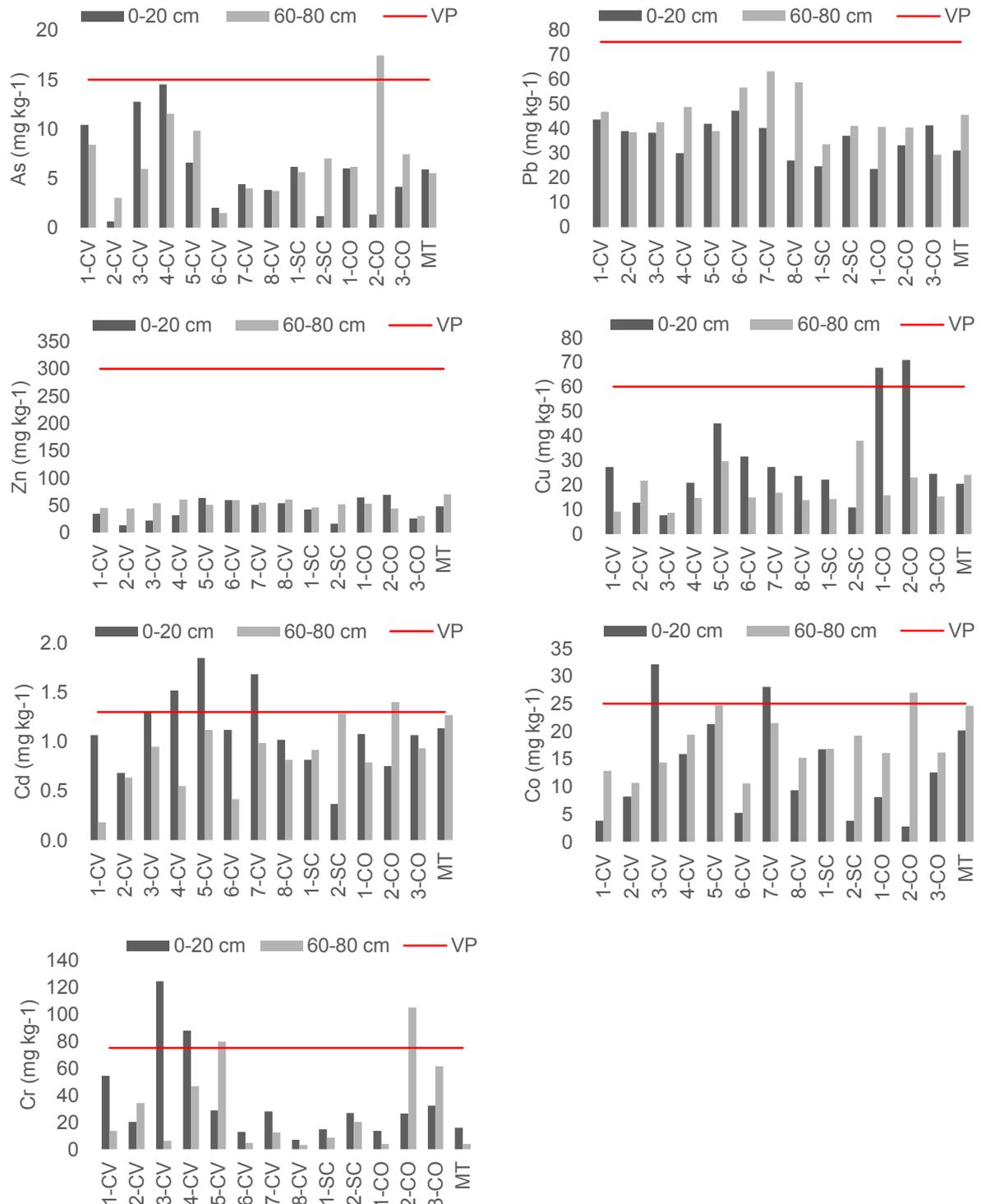
Os teores de elementos-traço variaram bastante dentre as áreas deste estudo (Figura 7). Considerando os valores orientadores de qualidade do solo (VRQ's) quanto a presença de substâncias químicas, estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2009), algumas áreas apresentaram valores próximos, iguais e até superiores aos valores de prevenção (VP) preconizados pelo CONAMA. O valor de prevenção consiste na concentração limite de determinada substância no solo, acima da qual podem ocorrer alterações nocivas à qualidade do solo, da água e à saúde humana (CETESB, 2005).

Para o Arsênio duas áreas obtiveram teores próximos ao limite de prevenção, sendo elas 4-CV e 3-CV na profundidade de 0-20 cm. Em profundidade os teores foram em geral, semelhantes à camada mais superficial, exceto pela área 2-CO que ultrapassou o valor de prevenção. Em relação ao chumbo e ao zinco, todas as áreas apresentaram teores abaixo do limiar de prevenção em ambas as profundidades. O cobre teve o VP superado nas áreas 1-CO e 2-CO nas amostras da camada mais superficial, sendo este um resultado que pode ser explicado pelo tipo de manejo. Em profundidade houve diminuição dos teores de cobre. Para cádmio, cobalto e crômio, os solos de algumas propriedades ultrapassaram o VP em pelo menos um destes elementos. Na profundidade de 0-20 cm a área 3-CV obteve valores igual ou acima dos valores de prevenção para Cd, Co e Cr, a 4-CV valores superiores para Cd e Cr, a 7-CV para Cd e Co e a área 5-CV para Cd. Em profundidade 5-CV superou o limiar para Cr, tal como 2-CO que além de obter valores acima do VP para Cr, também ultrapassou para Cd e As. As áreas 1-SC, 2-SC, 3-CO, 1-CV e 8-CV não atingiram o limiar dos valores de prevenção de nenhum dos elementos-traço analisados. É notável que os maiores teores de elementos-traço encontrados foram nas áreas de manejo convencional e, decresciam com a menor intensidade do manejo, sendo os menores teores observados nas áreas de manejo semiconvencional e orgânico.

Vale ressaltar que os VRQ's estabelecidos pelo CONAMA não levam em consideração as condições específicas nas quais estão inseridos os solos estudados.

Sendo assim, as comparações devem ser feitas com cautela, já que o Espírito Santo ainda não possui resolução própria com valores orientadores que considerem condições de clima, relevo e material de origem da região.

Figura 7 - Teores de elementos-traço de solos cultivados com hortaliças na região serrana do Espírito Santo, nas profundidades de 0-20 cm e 60-80 cm



3.4. Análise estatística

Os diferentes sistemas de manejo estudados foram submetidos à análise de agrupamento (Cluster Analysis). Verificou-se a formação de 4 grupos distintos: grupo 1 (2-CO, 3-CO, 1-SC, 2-SC, 2-CV e 5-CV), grupo 2 (1-CO, 2-CO, 1-SC, 2-CV, 3-CV, 6-CV, 7-CV e 8-CV), grupo 3 (1-CO, 2-SC, 4-CV, 5-CV e 6-CV) e grupo 4 (1-CV e 4-CV). A análise levou em consideração as unidades amostrais coletadas dentro de cada área, por isso algumas áreas se repetem em grupos diferentes. Sendo assim, as áreas estão representadas no dendograma a partir de números (Figura 8), 1-CV = 39,40,41; 2-CV= 30,31,32; 3-CV= 17,18,19; 4-CV= 36,37,38; 5-CV= 8,9,10; 6-CV= 11,12,13; 7-CV= 14,15,16; 8-CV= 20,21,22; 1-SC= 23,24,25; 2-SC= 33,34,35; 1-CO=26,27,28,29; 2-CO= 4,5,6,7 e 3-CO= 1,2,3.

0

Figura 8 - Dendograma de similaridade entre os sistemas de manejo estudados na região serrana do Espírito Santo

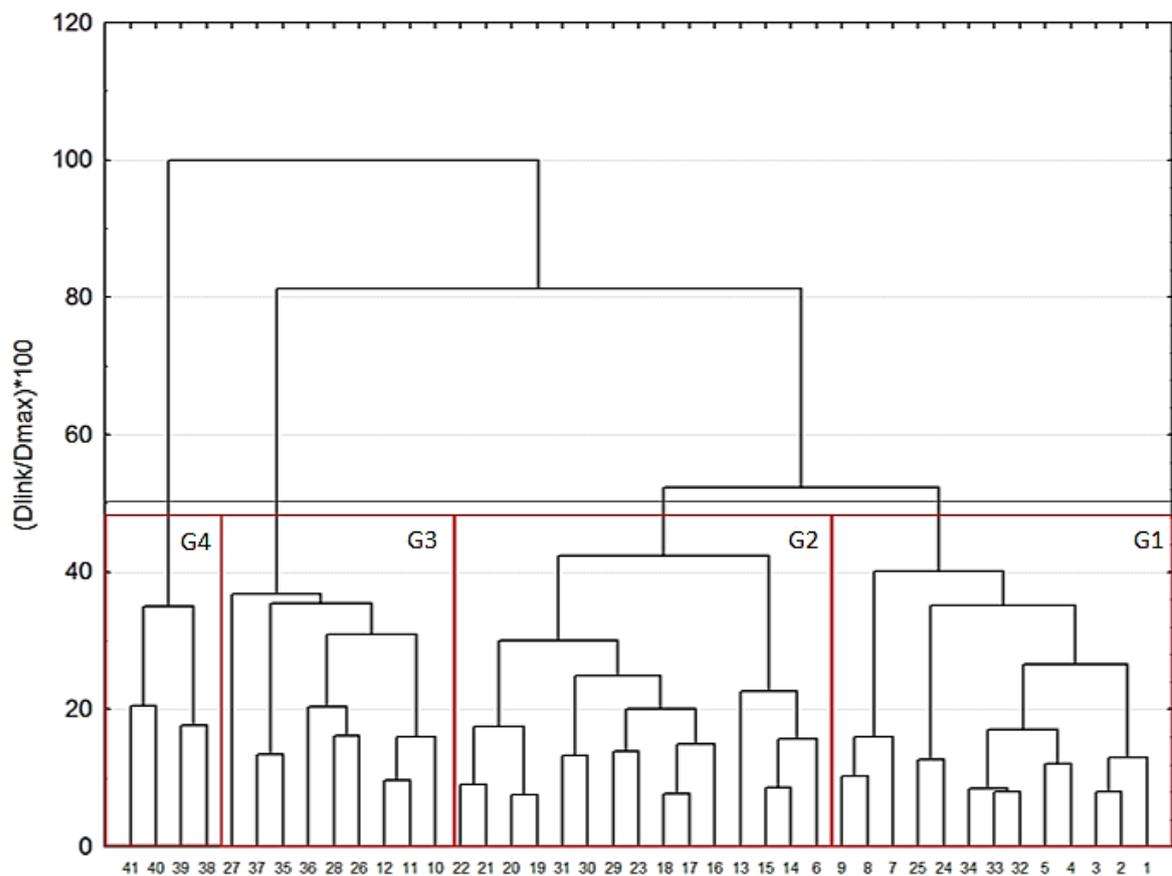
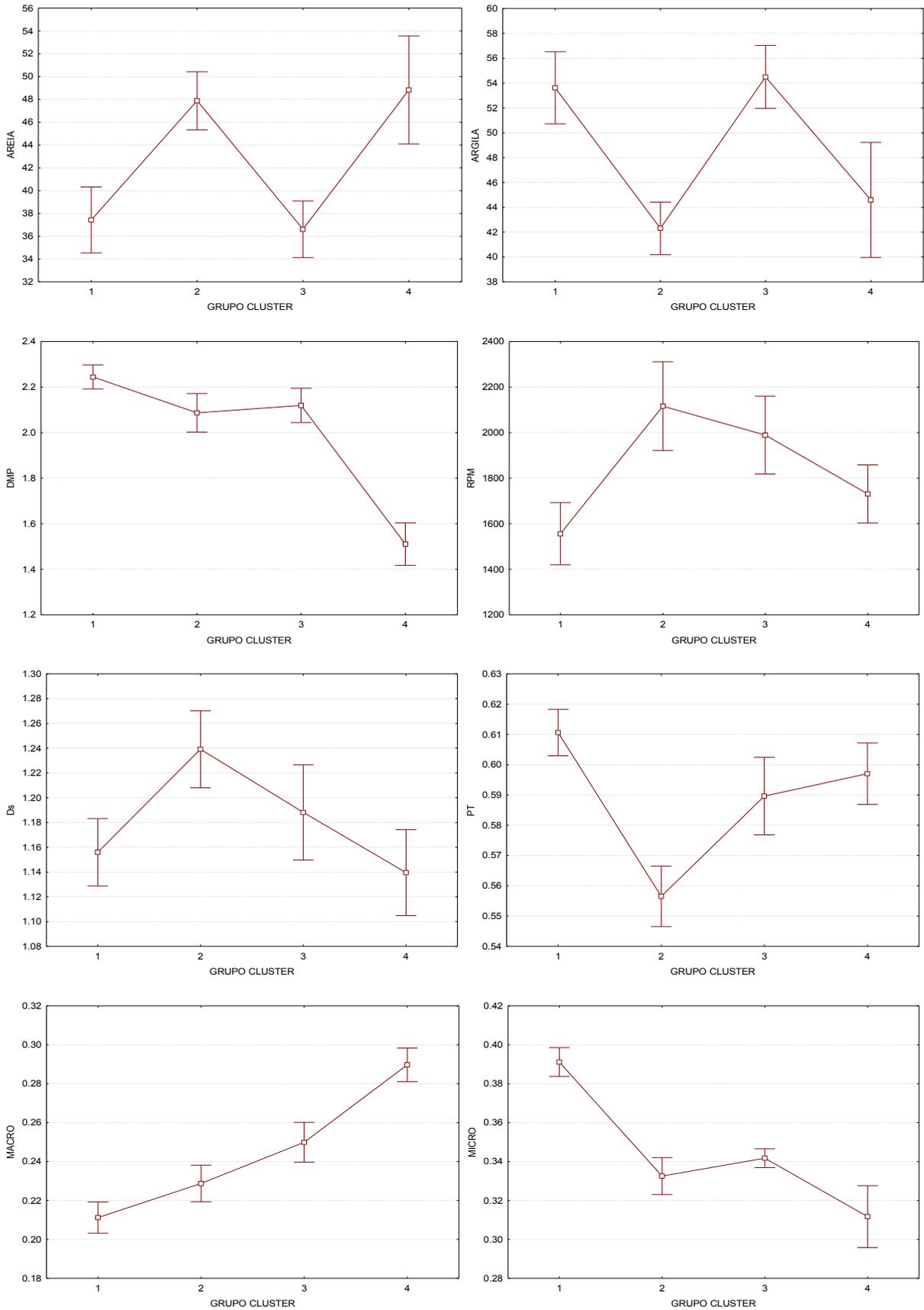
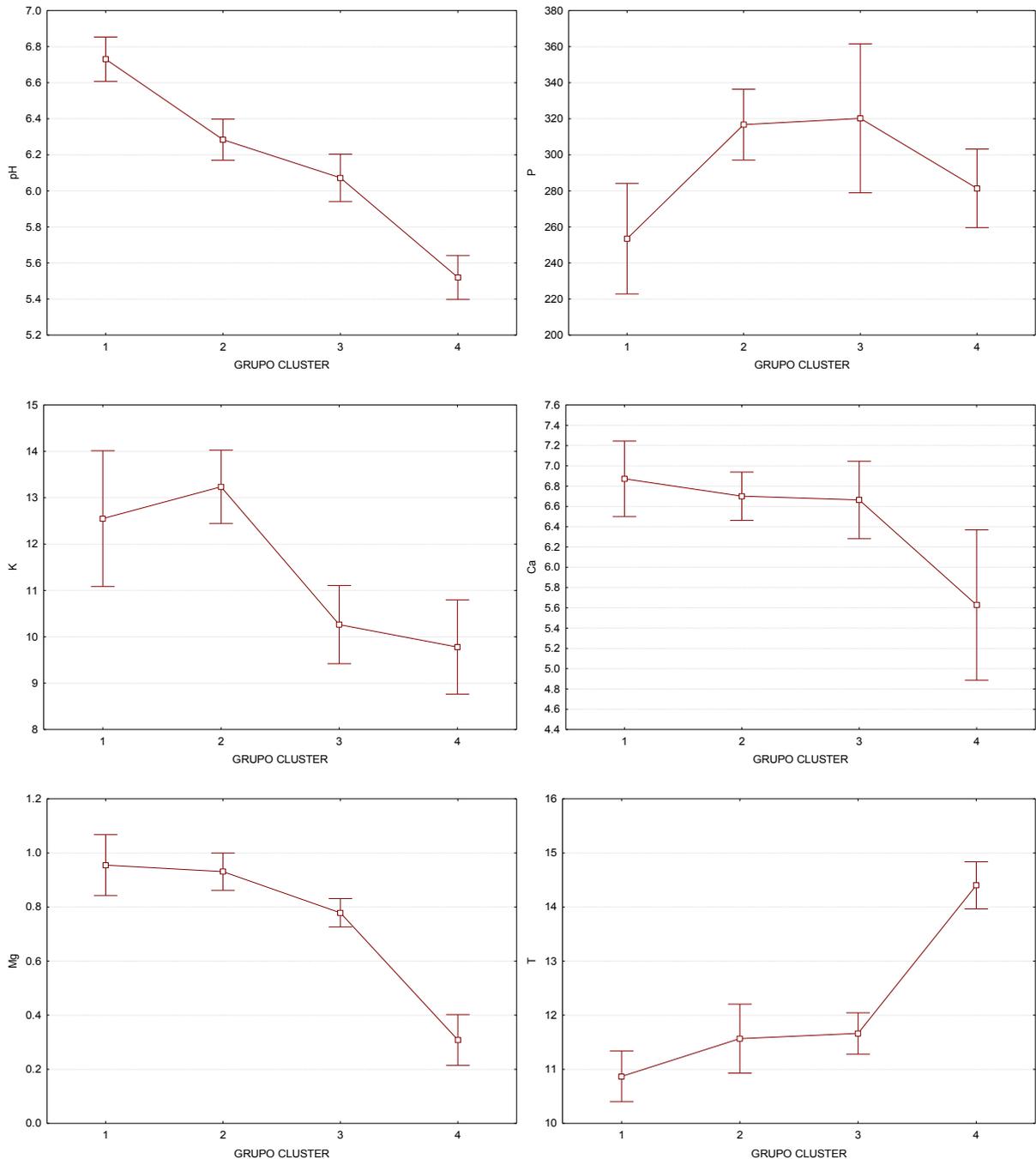


Figura 9 - Média e erro padrão dos atributos físicos analisados neste capítulo na profundidade de 0-20 cm nos 4 grupos formados a partir da análise de agrupamento



Areia e argila = %; diâmetro médio ponderado (DMP) = mm; resistência à penetração média (RPM) = kPa; densidade do solo (D_s) = kg/dm^3 ; porosidade total, macro e microporosidade = m^3/m^3 .

Figura 10 - Média e erro padrão dos atributos químicos analisados neste capítulo na profundidade de 0-20 cm nos 4 grupos formados a partir da análise de agrupamento



P e K = mg/dm^3 ; Ca, Mg e T = cmol/dm^3

Os quatro grupos distintos por vezes agrupam manejos diferentes, unindo áreas de manejo orgânico com áreas de convencional a áreas de manejo semiconvencional (Figura 8), expressando os efeitos das técnicas de manejo.

Em relação aos atributos físicos os grupos 1,2 e 3 obtiveram maiores valores de DMP. Os grupos 2 e 3 concentram os maiores valores de RPM, sendo o grupo 2 com maior valor de Ds e menor de PT. Os maiores valores de macroporos foram encontrados no grupamento 4, já os valores de microporos são superiores no grupo 1. Já para os atributos químicos todos os grupos apresentam fertilidade elevada, sendo o grupo 4 o que apresentou maior valor T (CTC). Os grupos 1,2 e 3 apresentam médias aproximadas quanto aos teores de Ca e Mg, enquanto os grupos 2 e 3 detêm as médias mais elevadas para fósforo e os grupos 1 e 2 as maiores médias para o potássio.

A análise estatística constatou a não diferenciação das áreas de acordo com o tipo de manejo, reforçando o efeito das técnicas de manejo e do histórico de cada área.

4. DISCUSSÃO

De acordo com a análise de agrupamento, o grupo 1 (2-CO, 3-CO, 1-SC, 2-SC, 2-CV, 5-CV) apresentou valores de DMP superiores a 2 mm. A elevação do DMP é associada a locais onde são realizados plantios com rotação de cultura, prática esta verificada em todas as áreas agrícolas desse estudo e comprovada no trabalho de Hernani e Guimarães (1999). Essa mesma tendência de elevação do DMP é observada em áreas onde o sistema apresenta pastagens, como no caso das áreas 2-SC e 1-SC, as quais realizam rotação de cultura entre pastagens e culturas comerciais (SALTON, 2005). Nas áreas 2-CO e 3-CO o preparo do solo é feito com microtrator e na área 1-SC o preparo é feito apenas com aração. Já em 5-CV o cultivo é feito a partir de terraceamento em nível que contribui para a menor frequência de operações que revolvam o solo. O menor revolvimento do solo contribui para melhoria da agregação e conseqüentemente no tamanho dos agregados (MARCOLAN; ANGHINONI, 2006). A análise de correlação linear foi negativa entre o teor de COT e os valores de DMP.

Segundo Portz et al., (2009), o valor de resistência à penetração do solo frequentemente abordado e considerado como limitante para o crescimento de raízes e desenvolvimento de plantas é de 2 MPa. Nas áreas estudadas a RPM atingiu valores críticos em camadas subsuperficiais, o que não caracteriza limitação para produção de hortaliças. Isso geralmente ocorre em áreas onde o preparo do solo se concentra nas camadas mais superficiais, havendo, portanto aumento da RPM em profundidade. Na camada compreendida entre 0-20 cm a RPM se concentrou na faixa de 0,5 a 1,5 Mpa, possibilitando bom desenvolvimento das raízes e estabelecimento das plantas, visto que o revolvimento do solo na camada superficial diminui a RPM. Vale ressaltar ainda que a RPM está altamente relacionada à umidade e densidade do solo (PORTZ et al., 2009), portanto, variações na umidade e na densidade podem gerar resultados maiores ou menores de RPM.

Considerando a análise estatística de agrupamento, o grupo 1 que obteve menor Ds (2-CO, 3-CO, 1-SC, 2-SC, 2-CV, 5-CV), apresentou os maiores valores de porosidade total (Figura 9). A área 5-CV possui uma condição particular, em que os cultivos são conduzidos sob prática de terraceamento devido à declividade do terreno. Essa prática agrícola é comprovadamente eficiente no controle de erosão, prevenindo perdas de solo e água através do processo erosivo. Além disso, a declividade do terreno afeta o uso de máquinas, o escoamento superficial de água no solo, a força da enxurrada, o que afeta diretamente os atributos físicos do solo (LOMBARDI; BERTONI, 1985; PIRES; SOUZA, 2006). Por isso, é provável que os resultados de Ds e PT estejam relacionados a esta prática agrícola associada a outras práticas como a rotação de culturas e o aporte orgânico como nas áreas 1-SC e 2-SC que realizam rotação de cultura com pastagens, nas quais o sistema radicular abundante incorpora matéria orgânica ao solo contribuindo para menor Ds e, as raízes atuam na formação e na estabilidade de agregados por meio de seus exsudatos contribuindo para maior PT (BRONICK; LAL, 2005).

As áreas 2-CO, 3-CO, 1-SC, 2-SC, 2-CV, 5-CV (grupo 1) apresentaram valores maiores de MICP em detrimento aos valores de MACP devido ao maior teor de argila e matéria orgânica que apresentam, favorecendo a retenção de água no solo. Para MACP, Taylor e Ashcroft (1972) estipularam valores de macroporos superiores a 0,10

$m^3 m^{-3}$ como sendo ideais. No presente estudo, todas as áreas apresentam valores de macroporos superiores ao estipulado por estes autores. Logo, a partir dos resultados apresentados, espera-se que a maioria das áreas sejam caracterizadas por solos bem drenados, maior difusão de gases na atmosfera edáfica, menor resistência para o crescimento de raízes.

A fertilidade dos solos agrícolas no geral foi considerada alta na profundidade de 0-20 cm. Na profundidade de 60-80 cm, os teores de nutrientes diminuíram. Os altos teores de P na camada superficial em relação à camada subsuperficial estão relacionados à utilização de grande quantidade de esterco compostado de frango que é rico em nutrientes como N, P e K (SILVA et al., 2011) e à utilização de adubos fosfatados como o fosfato natural, super simples e super fosfato triplo. De acordo com a análise de agrupamento, os grupos 2 (1-CO, 2-CO, 1-SC, 2-CV, 3-CV, 6-CV, 7-CV e 8-CV) e 3 (1-CO, 2-SC, 4-CV, 5-CV e 6-CV) apresentaram os maiores teores de P no solo justamente devido à aplicação de adubos fosfatados comuns às áreas convencionais e ao maior aporte de esterco compostado de frango em áreas orgânicas, semiconvencionais e convencionais.

Como o P apresenta baixa mobilidade no solo e a adubação é feita em superfície, seus teores acabam se concentrando na camada de 0-20 cm. Além disso, com os valores de COT considerados mais altos, a atividade microbiana pode ter sido incrementada e favorecido condições para solubilização do P e aumento de disponibilidade para as plantas (ARAÚJO et al., 2008). Outro fator importante na disponibilidade do P é o pH, em solos com pH mais baixos o P é adsorvido ficando indisponível para absorção das plantas por estabelecer forte ligação com o alumínio e o ferro, já em pH's mais altos, se torna insolúvel formando fosfato de cálcio (LANA et al., 2004). A análise de agrupamento demonstrou que os maiores teores de P foram encontrados nos grupamentos onde a faixa de pH é em torno de 6 - 6,5 (grupos 2 e 3). Considerando que parte das áreas se encontra com pH's próximos ou inseridos na faixa da neutralidade, ocorre maior disponibilidade, conseqüentemente os teores de P disponível obtidos serão maiores. Contudo, vale ressaltar que o excesso de P no ambiente pode gerar problemas, principalmente no que se refere à qualidade das águas, sendo a eutrofização a principal

preocupação, tal como demonstrado no trabalho de Klein e Agne (2012) e conforme descrito por De Resende (2002).

Segundo Filgueira (2013) para produção de hortaliças, deve-se elevar a saturação por bases em torno de 70%. Mais da metade das áreas agrícolas encontram-se nessa condição. Isso ocorre devido à correção do solo que é realizada frequentemente. Os teores mais altos de Ca e, médio a altos de Mg reforçam a maneira regular com que é realizada calagem nos solos das áreas agrícolas. Ainda com relação à saturação por bases, as áreas orgânicas obtiveram valores superiores às áreas convencionais, e conseqüentemente a soma de bases corroborou com a saturação por bases mais elevada.

Quanto aos elementos-traço, na profundidade de 0-20 cm, as áreas 4-CV e 3-CV que obtiveram teores de As próximos ao limite de prevenção estabelecido pelo CONAMA (15 mg kg^{-1}) podem estar associadas às principais fontes de contaminação de As no solo, sendo elas: pesticidas e fertilizantes (CANTONINI, 2010).

Nas áreas 1-CO e 2-CO, o valor de prevenção (VP) de cobre (60 mg kg^{-1}) foi superado e de acordo com o que muitos estudos têm demonstrado, o aumento da contaminação dos solos em áreas agrícolas por parte desse metal está relacionado com a intensa aplicação de fungicidas à base de Cu (CHAIGNON E HINSINGER, 2003).

Essas duas áreas específicas são de cultivo orgânico certificado e, portanto, apresentam muitas restrições quanto ao uso de insumos para combate de pragas e doenças, sendo assim, a calda bordalesa produzida a partir do sulfato de cobre é bastante utilizada e associada a grandes quantidades de matéria orgânica, a qual possibilita elevada energia de ligação com esse elemento, ocorre o incremento de Cu no solo das áreas 1-CO e 2-CO (ARAÚJO e NASCIMENTO, 2005).

Para as áreas que apresentaram valores iguais ou acima do VP de cádmio ($1,3 \text{ mg kg}^{-1}$) (3-CV, 4-CV, 5-CV e 7-CV), este pode ter sido adicionado ao solo por fertilizantes

fosfatados (DIAS et al., 2001). Considerando os altos níveis de P disponível quantificados nos solos desse estudo adicionados em sua maioria através dos fertilizantes, essa é uma possível rota para a entrada de Cd no solo. As áreas 3-CV e 4-CV que ultrapassaram o limiar do valor de prevenção para cromo (75 mg kg^{-1}) podem estar adicionando Cr ao solo através de insumos agrícolas e fertilizantes, principalmente os fertilizantes fosfatados. Fertilizantes fosfatados apresentam metais pesados provenientes da rocha que os originou e/ou ingredientes usados no seu processo de fabricação (CAMPOS et al., 2005).

Quanto aos níveis de cobalto pouco acima do VP (25 mg kg^{-1}) nas áreas 3-CV e 7-CV, podem ser associados à adubação de micronutrientes. A maior concentração de Co diminui a absorção de ferro e apresenta sintomas como folhas cloróticas na parte superior da planta e atrofiamento para algumas culturas (SFREDO; DE OLIVEIRA, 2010). Na área 3-CV, foi possível verificar esses sintomas. A matéria orgânica também facilita o acúmulo de cobalto nos solos, entretanto pode limitar a absorção para as plantas por formar compostos orgânicos estáveis no solo (MICROQUIMICA, 2019).

A área 2-CO que obteve teores acima do VP para As (15 mg kg^{-1}), Cd e Cr na profundidade de 60-80 cm, o que não foi verificado na camada mais superficial, possivelmente não está associada ao manejo. Esta condição pode ser justificada na geologia da área. A região de Santa Maria de Jetibá possui geologia diversificada devido a processos intrusivos pós-colisionais e sequências metavulcano-sedimentares. Segundo Oliveira et al. (2018), os processos intrusivos pós-colisionais geraram maciços compostos por núcleos máficos (compostos por monzodiorito e monzogabro) e rochas félsicas (monzonito). Sua evolução parece estar relacionada a processos de intrusão mantélica e fusão de crosta em que, de modo geral, rochas máficas e ultramáficas apresentam maiores teores de metais pesados.

A ocorrência de elementos-traço em rochas sedimentares devido a processos de enriquecimento em superfície é controlada principalmente pela adsorção, transporte e precipitação dos sedimentos. Um detalhe importante, é que a área 2-CO está sobre uma nascente e localizada na parte mais baixa da paisagem, o que favorece o

transporte e deposição de diversos elementos. Em solos do Brasil derivados de rochas máficas foi observada uma maior riqueza em minerais máficos apresentando, em geral, maiores teores de metais pesados, comparado com rochas mais claras, principalmente, as sedimentares como argilitos, siltitos e arenitos (Oliveira, 1996; Oliveira et al., 2000).

No geral, as áreas de manejo orgânico e semiconvencionais apresentaram valores de elementos-traço menores quando comparados às áreas de manejo convencionais. É válido mencionar que rochas e solos são constituídos naturalmente por metais pesados onde geralmente ocorrem em baixas concentrações não apresentando riscos para os seres vivos (NOVAIS et al., 2007). Entretanto, a atual e crescente degradação do meio ambiente tem como base o uso intenso e inadequado de agroquímicos no solo que, em conjunto com as crescentes atividades industriais e de mineração, têm sido apontados como os principais responsáveis pela contaminação dos diferentes compartimentos ambientais por elementos-traço (MALAVOLTA, 1994).

Tais elementos-traço podem ser introduzidos na cadeia alimentar pela adição de fertilizantes, principalmente fosfatados como já mencionado acima (DE CAMARGO et al., 2000). Isso ocorre devido à presença natural destes elementos em rochas fosfáticas que não são eliminadas no processo de fabricação. A contaminação do solo decorrente da aplicação de fertilizantes fosfatados pode parecer pequena, entretanto, como seu uso é maior que outros agroquímicos faz-se necessário um acompanhamento, assim como monitoramento das áreas agrícolas (AMARAL SOBRINHO et al., 1996). É importante mencionar que além dos fertilizantes minerais e corretivos, os elementos-traço tóxicos podem ser adicionados em áreas agrícolas por outras fontes: fungicidas, dessecantes, lodo de esgoto, restos da produção intensiva de animais, queima de combustível fóssil, entre outros. Além disso, nem todo metal adicionado ao solo estará disponível para absorção pelas plantas, uma vez absorvidos, apenas uma pequena quantia chega à parte comestível (ALLOWAY, 1995; OLIVEIRA et al., 2003; CAMPOS, 2003; CAPDEVILA et al., 2003).

Por conseguinte, é fundamental que mais estudos sejam realizados, principalmente para criação de valores orientadores que considerem as especificidades de cada região e só então haja uma fonte comparativa mais exata para as futuras análises referentes aos elementos-traço.

Os agrupamentos obtidos por similaridade, considerando os atributos químicos e físicos de solos, não expressam a diferenciação entre as áreas quanto ao tipo de manejo. Observa-se, por exemplo, que o grupo 1 (2-CO, 3-CO, 1-SC, 2-SC, 2-CV, 5-CV), é formado por áreas de manejo orgânico, semiconvencional e convencional. Estas apresentam conformidades nas técnicas e práticas de manejo adotadas como o menor revolvimento do solo feito com microtrator (2-CO e 3-CO), uma única operação de revolvimento do solo a cada cultivo, como no caso da área 1-SC que faz apenas aração, e a área 5-CV caracterizada pela prática de terraceamento e cultivo em nível, sendo assim, o solo sofre menos impacto com processos de compactação e erosão (MARCOLAN; ANGHINONI, 2006). A irrigação é dividida em aspersão (3-CO e 1-SC) e gotejamento (2-CO, 2-SC, 2-CV e 5-CV). A correção da fertilidade é efetuada em toda troca de cultivo, bem como a rotação de cultura ocorre em todas as áreas do agrupamento. As áreas 2-CO e 3-CO realizam pousio, adubação orgânica e adubação verde. 1-SC efetua o pousio e é caracterizada pela diversidade de culturas na propriedade. 2-SC promove pousios longos com pastagens. 2-CV promove o pousio com vegetação espontânea ou plantio de leguminosas e adubação orgânica. O controle de pragas e doenças ocorre simultaneamente ao aparecimento destas, com exceção de 5-CV, que realiza controle preventivo.

O grupo 2 formado pelas áreas 1-CO, 2-CO, 1-SC, 2-CV, 3-CV, 6-CV, 7-CV, e 8-CV, engloba áreas de manejo orgânico, semiconvencional e convencional. De acordo com o histórico de uso e manejo das propriedades, a maioria das áreas é cultivada com tomate e repolho, irrigação por gotejamento, com exceção de 1-SC, 3-CV e 8-CV, que irrigam por aspersão. O preparo do solo é feito em cada troca de cultivo por meio de aração e gradagem ou enxada rotativa (2-CV, 3-CV, 6-CV),

utilizando microtrator (1-CO e 2-CO) ou sob terraços em nível (7-CV). A correção da fertilidade é efetuada em toda troca de cultivo para todas as áreas (exceto por 8-CV, que efetua calagem eventualmente), bem como a rotação de cultura ocorre em todas as áreas do agrupamento. Todas as áreas do grupo 2 fazem adubação orgânica com esterco compostado de frango, exceto pelas áreas 6-CV e 7-CV. O controle de pragas e doenças ocorre simultaneamente ao aparecimento destas, com exceção de 6-CV e 7-CV que realizam controle preventivo semanal.

As áreas 1-CO, 2-SC, 4-CV, 5-CV e 6-CV constituem o grupo 3, o qual semelhante aos grupos anteriores também agrupou manejos distintos, reforçando a ideia de que as práticas de manejo são as que realmente influenciam na similaridade entre os diferentes manejos. Em todas as áreas o preparo do solo é feito com aração e gradagem ou enxada rotativa em cada troca de cultivo, sendo o preparo feito com microtrator apenas na área 1-CO e cultivo em nível sob terraços na área 5-CV. A irrigação é por gotejamento e são efetuadas práticas como rotação de cultura, pousio e adubação com esterco compostado de frango (exceto para 5-CV e 6-CV). As áreas 4-CV, 5-CV e 6-CV realizam controle preventivo de pragas e doenças.

Já o grupamento 4 constituído pelas áreas 1-CV e 4-CV difere-se dos demais grupos por ser formado apenas por áreas de manejo convencional. O solo é preparado a cada troca de cultivo por meio de aração e gradagem (1-CV) ou enxada rotativa (4-CV), sendo o solo da área 4-CV preparado no sentido da declividade do terreno. A Fertilidade é corrigida com calagem e adubação química a cada troca de cultivo e a irrigação é por gotejamento na área 1-CV. A fertirrigação é empregada na 4-CV. O grupo promove a rotação de cultura, faz adubação orgânica com esterco compostado de frango e 1-CV realiza pousio curto, enquanto 4-CV não efetua a prática de pousio.

Paralelo a isso, pode-se afirmar neste estudo, que mais importante do que os diferentes tipos de manejo são as técnicas e práticas agrícolas adotadas no cultivo de hortaliças na região serrana do ES. O grupo 1 é constituído por áreas que adotam o maior número de práticas favoráveis à qualidade dos solos como rotação

de cultura, adubação orgânica, adubação verde, cultivo em nível, preparo do solo com número reduzido de operações, diversidade cultural, pousio diferenciado com pastagens, leguminosas ou vegetação espontânea por um período de tempo mais longo (BARRETA et al., 2003; MATSUOKA et al., 2003; SANTOS et al., 2008). Por outro lado, o agrupamento 4 demonstra a menor diversidade de técnicas empregadas no manejo dos solos, refletindo de maneira prejudicial a qualidade dos solos.

5. CONCLUSÕES

Os atributos físicos e químicos avaliados não foram efetivos para diferenciar as áreas sob manejo convencional, daquelas sob manejo orgânico e das áreas de manejo semiconvencional.

A análise de agrupamento reuniu áreas de manejo distintas. Esses resultados expressam o efeito das práticas agrícolas adotadas e não do sistema de manejo. Por isso, não é possível afirmar se os sistemas de manejo convencional, semiconvencional e orgânico são benéficos ou prejudiciais para a qualidade de solos cultivados com hortaliças na região serrana do Espírito Santo, devendo-se levar em consideração as técnicas aplicadas e não o sistema de manejo empregado, sendo necessário o desenvolvimento de mais estudos.

Quanto aos teores de elementos-traço, valores acima dos de referência de qualidade foram encontrados nas áreas de manejo convencional e orgânico, com destaque para arsênio, cádmio, cromo e cobre, os quais obtiveram valores próximos ou superiores aos valores de prevenção preconizados pelo CONAMA.

6. REFERÊNCIAS

- ABBOUD, A. C. de S et al. **Livro Introdução à agronomia**. Rio de Janeiro, p. 195-235, 2013.
- ALMEIDA, F.F.M. et al. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo: SBG, v. 7, n. 4, p. 349-364, 1977.

ALLOWEY, B.J. Heavy metals in soils. 2.ed. London: **Blackie Academic & Professional**, p. 368,1995.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M.; FONTES, M.P.F. Efeito de um resíduo da indústria de Zn sobre a química de amostras de solo e plantas de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.271-276,1996.

ANGELETTI, M. da P. Estratégia de desenvolvimento tecnológico e social local para melhoria nos agroecossistemas produtores de hortaliças e grãos da Região Centro Serrana do Espírito Santo. In: SILVA, H. B. C. da; CANAVESI, F. de C. **Conhecimento, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento da Agricultura Familiar**. Brasília. Ministério do Desenvolvimento Agrário. 231 – 240 p, 2015.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, uberlândia, v. 23, p. 66 - 75, 2007.

ARAÚJO, F. F. de et al. Desenvolvimento do milho e fertilidade do solo após aplicação de lodo de curtume e fosforita. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 5, p. 507-511, 2008.

ARAÚJO, C.T.; NASCIMENTO, C.W.A. Fracionamento e disponibilidade de zinco por diferentes extratores em solos incubados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:977985, 2005.

BARETTA, D. et al. Fauna edáfica avaliada por armadilhas e catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 2, n. 2, p. 97-106, 2003.

BASTIDA, F. et al. Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective. **Geoderma**, v. 147, p. 159 - 171, 2008.

BAVOSO, M. A. et al. Preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo: efeito na resistência tênsil e friabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 227-234, 2010.

BRITO-NEVES, B.B., CORDANI, U.G. Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic. **Precambrian Research**, 53: 23 – 40, 1991.

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

CAMPOS, Mari Lucia et al. Determinação de cádmio, cobre, cromo, níquel, chumbo e zinco em fosfatos de rocha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 4, p. 361-367, 2005.

CAMPOS, V. Trace elements in pesticides. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.34, n.9-10, p.1261-1268, 2003.

CANTONI, M. Arsênio em solos do Estado de São Paulo: método analítico, concentração de base e sorção. **Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas**, 2010.

CAPDEVILA, F.; NADAL, M.; SCHUHMACHER, M.; DOMINGO, J.L. Intake of lead and cadmium from edible vegetables cultivated in Tarragona Province, Spain. **Trace Elements and Electrolytes, Oberhaching**, v.20, n.4, p.256-262, 2003.

CARNEIRO, Marco Aurélio Carbone et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório do **Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**, 2005. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/solo/valores-orientadores-para-solo-e-agua-subterranea/>.

CHAIGNON, V.; HINSINGER, P. A. Biotest for evaluating for bioavailability to plants in a contaminated soil. **Journal of Environment Quality**, v.32, p.834-833, 2003

CONAMA-Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução Nº. 420, De 28 de Dezembro de 2009. **Diário Oficial da União**, 2009.

COSTA, A.; DA COSTA, A. N. **Valores orientadores de qualidade de solos no Espírito Santo**, 2015.

DE CAMARGO, M. S., DOS ANJOS, A. R. M., ROSSI, C., E MALAVOLTA, E. Adubação fosfatada e metais pesados em Latossolo cultivado com arroz. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 3, p. 513-518, 2000.

DEPONTI, C. M.; ALMEIDA, J. Indicadores para avaliação da sustentabilidade em contextos de desenvolvimento rural local: **CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO AMERICANA DE SOCIOLOGIA RURAL**, 2002.

DE RESENDE, A. V. Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato. **Embrapa Cerrados-Documentos (INFOTECA-E)**, 2002.

DIAS, N. M. P. et al. Isotermas de adsorção de cádmio em solos ácidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.2, p.229-234, 2001.

DORAN, J.W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: Doran J.W., Jones, A.J., Methods for Assessing Soil Quality. **Soil Science Society of America**, p. 25-37, 1996.

ELEMENT, C. A. S. Method 3051A microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. **Z. Für Anal. Chem**, v. 111, p. 362-366, 2007.

FEITOZA, L. R. et al. Mapa das Unidades Naturais do Estado do Espírito Santo - Informações básicas. **Natural Resources Information Systems for Rural Development-Approaches for Espírito Santo State, Brazil**. Vitória: INCAPER, p. 212-217, 2001.

FILGUEIRA, F. A. R. Parte II-Olericultura especial. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças, 3ª edição**. UFV, Viçosa, 2013.

FREIRE, L. R. Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro. **Embrapa Solos-Livro técnico**, 2013.

HERNANI, L.C.; GUIMARÃES, J.B.R. Efeitos de sistemas de preparo do solo e rotação de culturas em atributos físicos de um Latossolo Roxo. In: **CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO**, Temuco, 1999.

HOWARD, A. S. Livro: **Um testamento agrícola: expressão popular**, 2 edição. São Paulo, 2012.

IDAF - Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo (ES). **Plano de Manejo do Parque Estadual da Pedra Azul**. Vitória: Cepemar, p. 595, 2004.

IJSN-INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES. **Indicadores de Desenvolvimento do Espírito Santo-INDDES**. Disponível em: <<http://www.ijsn.es.gov.br>>. Acesso em: 10 de dez. 2019.

JUNIOR, S. F. G. **Sistemas de uso e manejo do solo: acúmulo de carbono e atributos físicos**, 2013.

KLEIN, C.; AGNE, S. A. A. Fósforo: de nutriente à poluente. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n. 8, p. 1713-1721, 2012.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928.

LANA, R. M. Q. et al. Produção da alface em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solo de Cerrado. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 3, p. 525-528, 2004.

LLANILLO, R. F. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 27, n. 2, 2006.

LOMBARDI, N. F.; BERTONI, J. Conservação do solo. Piracicaba, SP. **Editora Livroceres**, 1985.

MALAVOLTA, E. Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados: mitos, mistificação e fatos. São Paulo: **Petroquímica**, p.153, 1994.

MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um Argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 163-170, 2006.

MATSUOKA, M. et al. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.425-433, 2013.

MENDONÇA E. S; MATOS E. S. **Matéria orgânica do solo; métodos de análises**. Viçosa: UFV; 107p, 2005.

MICROQUIMICA. Microquimica.com, 2019. **Nutrição de plantas – cobalto**. Disponível em: < <https://www.microquimica.com/site/nutricao plantas/13/cobalto>>. Acesso em: 25 de Jan. 2020.

NIERO, L. A. C. et al. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1271-1282, 2010.

NOVAIS R. F. et al. Fertilidade do solo. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 1017p, 2007.

OLIVEIRA, F. B. O et al. **Mapeamento Geológico e Geologia Regional Volume 2**. p.99-110. Alegre, ES: CAUFES, 2018.

OLIVEIRA, C. de, et al. Solubilidade de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto enriquecido. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 27, n. 1, 2003.

OLIVEIRA, T.S et al. Relationship between magnetization and trace elements of Brazilian soils from different parent materials. **Soil Science**, v.165, p.825-834, 2000.

OLIVEIRA, T.S. **Metais pesados como indicadores de materiais de origem**. 156p Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 1996.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M. **Práticas mecânicas de conservação do solo e da água**. 2º ed. Viçosa. 216p, 2006.

PORTZ, G. et al. Ajuste dos valores obtidos por Resistência a Penetração (índice de cone), em função da Umidade e Densidade do Solo em condições de campo. **CEP**, v. 91501, p. 970, 2009.

PREZOTTI, L. C. et al. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo**: - 5ª aproximação. Vitória, ES: SEEA; INCAPER; CEDAGRO, 305p, 2007.

R Core Team. R: **A language and environment for statistical computing**, 2012.

RODRIGUES, A. A. **Qualidade de solos em diferentes coberturas vegetais no bioma Mata Atlântica-ES**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, 2019.

ROZANE, D. E. et al. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho distrófico, sob diferentes manejos. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 1, 2010.

SALTON, J.C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. Tese de Doutorado. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 158p, 2005.

SANTOS, H. P. D. et al. Efeito de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas na fertilidade do solo, após vinte anos. **Bragantia**, v.67, p.441-454, 2008.

SFREDO, G. J.; DE OLIVEIRA, M. C. N. Soja: molibdênio e cobalto. **Embrapa Soja-Documentos (INFOTECA-E)**, 2010.

SILVA, E. D.; SANTOS, A. R.; SILVA, K. G. Estudo morfológico e climático dos municípios da região serrana do estado do Espírito Santo. **Caminhos de Geografia**, v. 12, n. 39, p. 94-103, 2011.

SILVA, T. R. da et al. Cultivo do milho e disponibilidade de P sob adubação com cama-de-frango. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 9, p. 903-910, 2011.

TAYLOR, S. A.; ASHCROFT, G. L. **Physical edaphology: the physics of irrigated on nonirrigated soils**. San Francisco: W. H. Freeman, 532 p, 1972.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Embrapa. 573p, 2017.

VALARINI, P. J. et al. Qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças orgânico e convencional. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 485-491, 2011.

VALARINI, P. J. et al. Impacto ambiental de sistema intensivo de cultivo em agricultura irrigada sobre propriedades físicoquímica e microbiológica do solo. In: **CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**. p. 447-466, 1996.

CAPÍTULO 2

MATÉRIA ORGÂNICA E ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DOS SOLOS CULTIVADOS COM HORTALIÇAS NA REGIÃO SERRANA DO ESPÍRITO SANTO

Resumo

O objetivo desse trabalho foi avaliar o impacto de diferentes sistemas hortícolas (convencional, semiconvencional e orgânico) sobre a matéria orgânica do solo. As coletas de solo foram realizadas na região serrana do ES em 13 propriedades rurais (8 áreas sob manejo convencional, 2 semiconvencionais e 3 orgânicas) e uma em área de mata, na profundidade de 0-20 cm para obtenção de amostras de solo deformadas. Para determinação da fauna edáfica e da atividade enzimática foram selecionadas duas áreas sob manejo orgânico e duas sob manejo convencional. Os dados foram submetidos à análise de agrupamento (Cluster Analysis) por similaridade. Os resultados revelam que os atributos biológicos não diferenciaram as áreas sob manejo convencional, daquelas sob manejo orgânico e das áreas de manejo semiconvencional, já que a análise de agrupamento reuniu diferentes sistemas de manejo no mesmo grupo, impossibilitando a indicação de qual tipo de manejo está influenciando de forma benéfica ou prejudicial a qualidade dos solos. Entretanto, os resultados expressam o efeito das práticas e técnicas agrícolas adotadas, sendo um conjunto destas mais influentes na qualidade do solos do que os sistemas de manejo. Formaram-se 4 grupos, o grupo 1 uniu as áreas que efetuam diversas práticas agrícolas como rotação de cultura, pousio, adubação verde, adubação orgânica, menor intensidade no preparo do solo e de acordo com a declividade do terreno, uso de plantas de cobertura e cultivo diversificado, sendo esse grupo o que obteve os maiores valores de COT, CBM, NBM, NT, Nmin, Qmin, MOL e expressou melhor qualidade do solo. Por outro lado, o grupo 4, formado por áreas com baixa adesão de práticas agrícolas mais conservacionistas do solo, obteve resultados inferiores quando comparado aos demais grupos. Portanto, esses resultados expressam o efeito das técnicas agrícolas adotadas e não dos sistemas de manejo empregados no cultivo de hortaliças na região serrana do ES.

Palavras-chave: carbono orgânico, fauna edáfica, biomassa, manejo do solo.

CHAPTER 2

ORGANIC MATTER AND BIOLOGICAL ATTRIBUTES OF SOIL CULTIVATED WITH VEGETABLES IN THE MOUNTAINEOUS REGION OF ESPÍRITO SANTO

Abstract

The objective of this work was to evaluate the impact of different horticultural systems (conventional, semi-conventional and organic) on the organic matter of the soil. Soil collections were carried out in the mountainous region of ES in 13 rural properties (8 areas under conventional management, 2 semi-conventional and 3 organic) and one in the forest area, at a depth of 0-20 cm to obtain soil samples deformed. To determine the edaphic fauna and enzymatic activity, two areas under organic management and two under conventional management were selected. The data were submitted to cluster analysis (similarity analysis). The results reveal that the biological attributes did not differentiate the areas under conventional management, those under organic management and semi-conventional management areas, since the cluster analysis brought together different management systems in the same group, making it impossible to indicate which type of management is beneficially or adversely influencing soil quality. However, the results express the effect of the agricultural practices and techniques adopted, being a group of these more influential in the quality of the soil than the management systems. Four groups were formed, group 1 joined the areas that carry out various agricultural practices such as crop rotation, fallow, green manure, organic manure, less intensity in soil preparation and according to the slope of the land, use of cover plants and diversified cultivation, this group being the one that obtained the highest COT, CBM, NBM, NT, Nmin, Qmin, MOL values and expressed the best soil quality. On the other hand, group 4, formed by areas with low adherence to more soil conservationist agricultural practices, obtained inferior results when compared to the other groups. Therefore, these results express the effect of the agricultural techniques adopted and not the management systems used in the cultivation of vegetables in the mountainous region of ES.

Keywords: organic carbon, edaphic fauna, biomass, soil management.

1. INTRODUÇÃO

A região serrana do ES detém cerca de 80% da produção de olerícolas estadual e, como área de produção agrícola, apresenta características como ampla utilização de insumos agrícolas, frequente revolvimento do solo, grande utilização de resíduos de origem animal e, por ser tratar de região serrana, o relevo é bastante acidentado, sendo os cultivos realizados muitas vezes em áreas de maior declividade. O sistema de manejo convencional é predominante, todavia, outros sistemas diferenciados como os de cultivo protegido e os que prezam pela sustentabilidade dos agroecossistemas vêm sendo desenvolvidos, como no caso do manejo orgânico (ANGELETTI, 2015; DE MELO E VILELA, 2007).

Dentro de um ecossistema natural ocorre uma equilibrada integração entre cobertura vegetal e os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Contudo, as atividades antrópicas nas quais o solo é submetido, podem provocar alterações, cuja intensidade está relacionada ao tipo de manejo adotado (SILVA et al., 2007). As práticas de manejo normalmente provocam a quebra dos ciclos biogeoquímicos, interferindo na qualidade física e química do solo, além de alterar as atividades dos micro-organismos edáficos. Por esse motivo, são verificadas modificações na disponibilidade de nutrientes, na dinâmica da matéria orgânica do solo, na respiração basal e na emissão de CO₂ (FERREIRA et al., 2015; ISLAM e WEIL, 2000). Além disso, o uso elevado e por vezes inadequado de agroquímicos, em adição às frequentes operações de preparo do solo podem ser os responsáveis pelo desequilíbrio biológico, afetando desde micro até macro-organismos pertencentes à fauna edáfica (SILVA, MENDONÇA, 2007; BARETTA et al., 2003; CIVIDANES, 2002; MALAVOLTA, 1994).

Diferentemente da maioria dos atributos químicos e físicos, os micro-organismos vêm sendo apontados como bioindicadores com elevado potencial para avaliação da qualidade do solo. Isso porque apresentam resposta rápida e maior sensibilidade às modificações geradas pelo manejo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Os principais atributos biológicos utilizados para referenciar a qualidade edáfica relacionada aos

micro-organismos são parâmetros como a respiração, biomassa microbiana e atividade enzimática (BASTIDA et al., 2008).

Além destes, a matéria orgânica do solo (MOS) é considerada de grande importância para o solo, já que está relacionada a diversos processos edáficos. Os diferentes manejos agrícolas aos quais a MOS é submetida, podem influenciar na dinâmica de nutrientes, na agregação e estruturação, determinantes nos fluxos de água do solo, na complexação de substâncias tóxicas, na CTC e na atividade biológica do solo (ESPAGNOLLO et al., 2004).

Diante do que foi exposto, considerando a importância econômica e social da região serrana do ES, a escassez de dados sobre como o uso e manejo de solos podem impactar na qualidade destes, o presente estudo tem por objetivo quantificar os teores de carbono orgânico total, a respiração basal, a biomassa microbiana, a atividade enzimática e a fauna edáfica de solos cultivados com hortaliças sob manejo convencional, semiconvencional e orgânico na região serrana do ES.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área

Conforme descrito no Capítulo 1.

2.2. Amostragem e preparo de amostras

A coleta de solo para a caracterização biológica e das frações da matéria orgânica foi realizada na estação do verão em 2019. As áreas selecionadas foram divididas em três e quatro unidades amostrais.

O solo foi coletado por meio de trado holandês na profundidade de 0 a 20 cm na linha de plantio. Foram coletadas nove amostras simples por unidade amostral que, após serem homogeneizadas originaram uma amostra composta deformada. Parte das amostras deformadas foi separada e acondicionada em sacos plásticos, sendo

armazenadas sob refrigeração até a execução das análises e parte para obtenção da terra fina seca ao ar.

2.3. Análises dos atributos biológicos dos solos

2.3.1. Análises da Matéria Orgânica do Solo

Após obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), determinada quantidade de solo de cada amostra foi moído em almofariz e passado em peneira de 0,2 mm de malha, o qual foi empregado para análise de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT). Os teores de carbono orgânico total (COT) foram quantificados por oxidação via úmida com dicromato de potássio e ácido sulfúrico, submetidos a aquecimento e determinados por titulometria de acordo com Mendonça e Matos (2017).

Os teores de C e N da biomassa microbiana foram determinados através do método de irradiação-extração conforme descrito em Mendonça e Matos (2017). O CBM no extrato é determinado por meio de titulação do excesso de dicromato com sulfato ferroso amoniacal e o NBM através de titulação com HCl 0,005 mol L⁻¹ após destilação em aparelho Kjeldahl. Após a obtenção dos dados, foi calculado o quociente microbiano (qMIC), obtido pela relação entre CBM e COT, capaz de indicar a qualidade da matéria orgânica do solo e a capacidade de converter o C do solo em C microbiano.

Os teores de nitrogênio total (NT) foram mensurados a partir de digestão das amostras e posterior destilação em aparelho Kjeldahl, utilizando indicador de ácido bórico e titulando com HCl 0,05 mol L⁻¹ (TEDESCO et al., 1995).

O N mineralizável (NMA) foi quantificado por meio de incubação anaeróbica conforme o método descrito por Keeney e Nelson (1982). Consiste na incubação de amostras de solos a 40°C no período de uma semana. Decorrido o tempo, os teores de N das amostras incubadas foram determinados por destilação e titulação com solução de H₂SO₄ 0,0025 mol L⁻¹ ao passo que os teores de N das amostras não incubadas (N inicial) também são determinados.

A determinação dos teores da matéria orgânica leve (MOL) foi realizada adicionando-se solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹ no solo e deixando-o em repouso durante uma noite. Posteriormente, a suspensão foi peneirada e a MOL retida na peneira foi separada, seca em estufa a 65°C até peso constante, e pesada (MENDONÇA e MATOS, 2017).

2.3.2. Fauna Edáfica

Para determinação da fauna edáfica foram utilizados dois métodos de coleta: um utilizando armadilhas de queda do tipo pitfall e o outro por meio de coletas de solo em blocos. A coleta foi realizada na estação de verão em quatro áreas, sendo elas: 1-CO, 3-CO, 2-CV e 3-CV (duas de manejo orgânico e duas de manejo convencional). A escolha dessas áreas específicas ocorreu principalmente pela impossibilidade de avaliar todas as áreas dentro do tempo estimado para esse estudo, as coletas ocorreram em um segundo momento, no qual só restavam cultivos nas respectivas áreas amostradas.

No método de blocos, foram coletadas quatro amostras de solo em cada unidade amostral, utilizando um cilindro de dimensões conhecidas. O solo foi acondicionado em sacos plásticos e enviado para a Universidade Federal do Espírito Santo. No laboratório de Pedologia, os indivíduos visíveis das amostras foram coletados e armazenados em solução de álcool a 70%.

Para as armadilhas de queda, os pitfalls utilizados eram caracterizados por recipientes de polipropileno com volume de 1 L. Os recipientes foram enterrados ao nível do solo com um terço de seu volume preenchido por solução super salina (500 g de NaCl/10L de água) para conservação dos insetos, mais algumas gotas de detergente para quebra de tensão superficial do meio. Foram realizadas três coletas sucessivas, nas quais, quatro armadilhas foram inseridas em cada unidade amostral, sendo trocadas a cada três dias. Após a coleta, os indivíduos também foram armazenados em solução de álcool a 70% e com a fauna coletada em blocos e em pitfalls procedeu-se a identificação em grupos taxonômicos com auxílio de lupas binoculares.

Para caracterização da fauna edáfica, a diversidade foi calculada pelo índice de Shannon ($H' = -\sum p_i \cdot \log p_i$), a uniformidade pelo índice de Pielou ($e = H/\log S$) e a dominância pelo índice de Simpson ($1/s = \sum p_i^2$), em que $p_i = n_i/N$, onde n_i indica a densidade de cada grupo e N o somatório de todos os grupos, e S significa número de grupos.

2.3.3. Atividade Enzimática

A atividade enzimática foi quantificada com base na determinação colorimétrica conforme metodologia prescrita por Tabatabai (1994), sendo determinadas as atividades das enzimas β -glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase nas áreas S2-CO, E8-CO, I7-CV e S4-CV.

2.3.4. Emissão de CO₂ (respiração basal)

As emissões de CO₂ do solo foram medidas usando um analisador portátil LI-8100 (LiCor, EUA) acoplado a uma câmara dinâmica e colocada em cilindros de PVC (10 cm de diâmetro) inseridos na superfície do solo. Em cada unidade amostral de cada sistema estudado foram obtidas oito leituras. Os tubos de PVC permaneceram imóveis pelos próximos 30 minutos até proceder o acoplamento da câmara em cada um deles e realizar as leituras. Simultaneamente, foi determinada a temperatura, umidade e condutividade elétrica do solo próximo ao anel utilizando um sensor FDR ProCheck. Após obtenção dos dados de emissão de CO₂ e do CBM, foi calculado o quociente metabólico (qCO₂) que define a quantidade de CO₂ liberada por unidade de biomassa microbiana (ANDERSON E DOMSCH, 1990).

A relação entre a emissão de CO₂ e a temperatura do solo foi obtida por meio da relação linear que geralmente é observada entre esses dois parâmetros. Nas unidades amostrais em que a temperatura caracterizou-se como limitante e onde houve correlação positiva com a respirometria, o Q10 que representa a proporção do aumento de emissão de CO₂ para uma elevação de 10°C na temperatura do solo, foi obtido a partir da equação $Q10 = \text{EXP}(10 \cdot b)$, na qual b , é o coeficiente da regressão

exponencial entre a emissão de CO₂ e a temperatura do solo (CARVALHO et al., 2012; THOMAZINI et al., 2015).

Além do Q10, foi calculado o R25, que permite a comparação da emissão de CO₂ do solo entre as áreas amostradas. Os dados do efluxo de CO₂ obtidos em campo são ajustados à temperatura de 25°C através da equação $R25 = ECO_2 * Q10^{((25-T) / 10)}$, na qual ECO₂ é a emissão de CO₂ e T é a temperatura do solo, ambas obtidas durante a amostragem em campo (ACOSTA et al., 2013).

2.4. Análise estatística

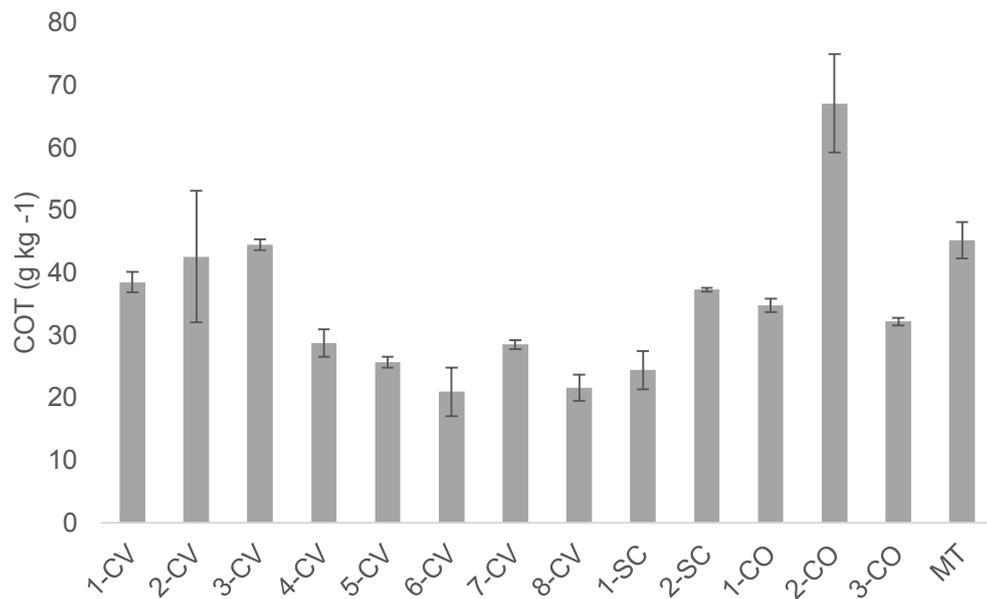
A análise de agrupamentos foi realizada utilizando o método de Ward e a matriz de similaridade da distância euclidiana padronizada para avaliar os grupos com diferentes níveis de degradação. Utilizou-se o ponto de corte de 50% de similaridade como critério para definição dos grupos. Os procedimentos estatísticos foram realizados no Software R (R Development Core Team, 2012).

3. RESULTADOS

3.1. Análises da Matéria Orgânica do Solo

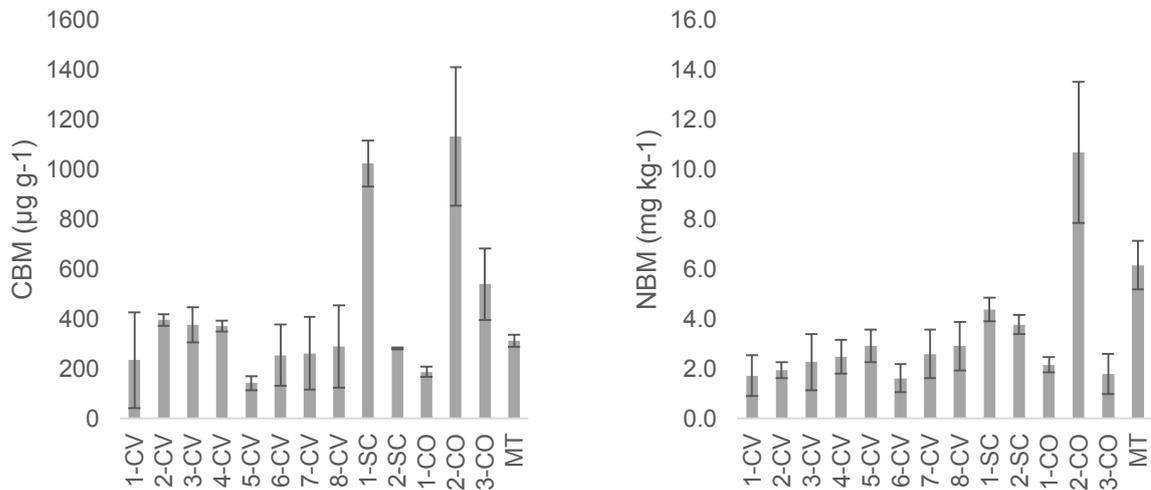
Os teores de carbono orgânico total (COT) variaram de 21 a 67 g kg⁻¹ de solo na profundidade de 0-20 cm (Figura 11). A área 2-CO foi a que apresentou maior COT. Apesar do solos das propriedades orgânicas possuírem maiores teores de COT, alguns solos de propriedades de manejo convencional também apresentaram valores altos, na faixa de 38 a 44 g kg⁻¹, chegando bem próximo do teor obtido na área MT, o qual foi de 45 g kg⁻¹. Todas as áreas foram classificadas como alto teor de carbono orgânico apresentando teores maiores do que 20 g kg⁻¹ (PREZOTTI et al., 2007).

Figura 11 - Teores de carbono orgânico total em solos cultivados com hortaliças na região serrana do Espírito Santo, na profundidade de 0-20 cm



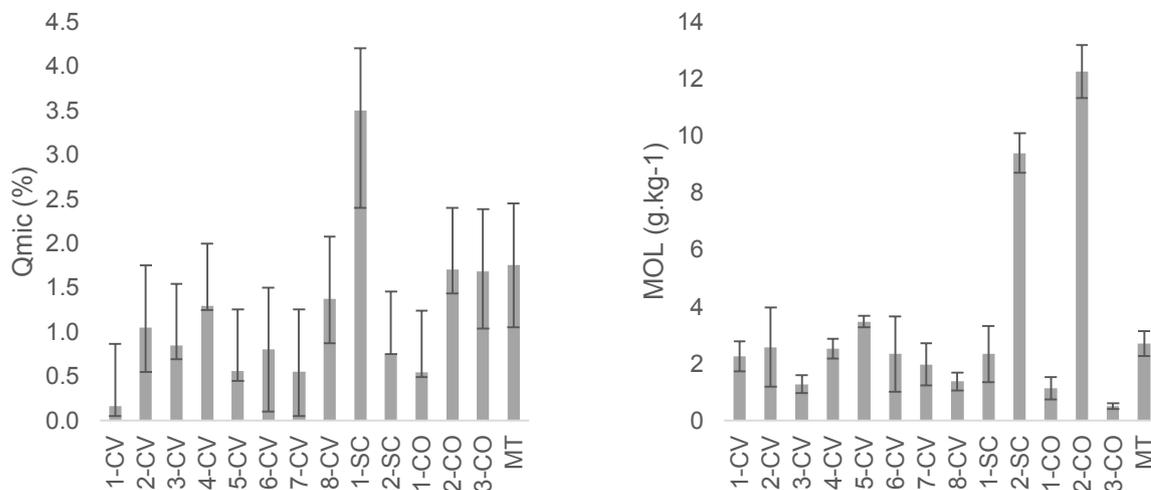
Para a profundidade de 0-20 cm, os maiores valores de C da biomassa microbiana (CBM) foram encontrados nos solos das áreas 2-CO, seguidos pelos solos das áreas 1-SC e 3-CO. No geral, houve reduções no CBM de áreas sob manejo convencional em relação às áreas de manejo orgânico e semiconvencional (Figura 12). Quanto ao N da biomassa microbiana (NBM), os valores variaram de 1,6 a 10,7 mg kg⁻¹ com destaque para as áreas 2-CO, MT e 1-SC. O mesmo comportamento observado para o CBM, foi notado para NBM, diminuição dos teores de NBM à medida que o sistema de manejo do solo se intensificava.

Figura 12 - Teores de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em solos cultivados com hortaliças na região serrana do Espírito Santo



As áreas 1-SC, MT, 2-CO e 3-CO obtiveram os maiores valores para o quociente microbiano (qMIC), sendo os menores valores observados nas áreas 1-CV, 5-CV e 1-CO (Figura 13). Em relação à matéria orgânica leve em água (MOL), os maiores valores encontrados foram nas áreas 2-CO e 2-SC com 12,3; e 9,4 g kg⁻¹ de MOL, respectivamente. Já os menores valores, foram obtidos na área 3-CO e na 1-CO (Figura 13).

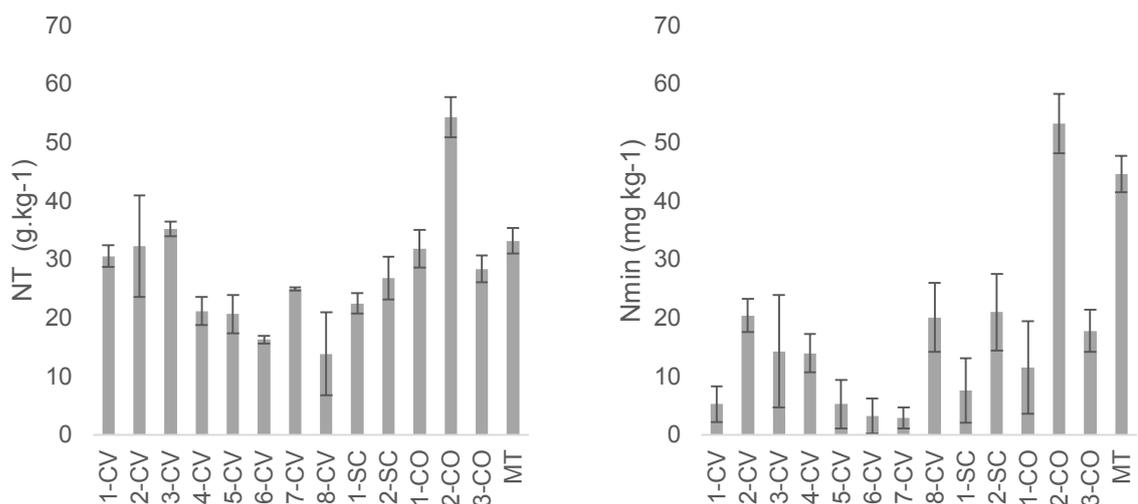
Figura 13 - Quociente microbiano e matéria orgânica leve em solos cultivados com hortaliças na região serrana do Espírito Santo



Para nitrogênio total (NT) os teores variam de 14 a 54 g kg⁻¹. O solo da propriedade 2-CO assim como para o COT, foi o que apresentou maior teor de NT. Comparando os valores médios entre propriedades convencionais, semiconvencionais e orgânicas, as últimas apresentaram resultados superiores. Entretanto, algumas áreas convencionais apresentaram altos teores de NT (Figura 14).

Nos teores de N mineralizável (Nmin), o maior valor obtido foi na área F5-CO, seguido pela área MT. No geral, à medida que a intensidade do uso do solo aumentava, o teor de Nmin diminuía (Figura 14).

Figura 14 - Nitrogênio Total e Nitrogênio Mineralizável em solos cultivados com hortaliças na região serrana do Espírito Santo



3.2. Fauna Edáfica

Considerando as coletas de fauna, somando as quatro áreas amostradas e os dois métodos utilizados, foi quantificado um total de 10.895 indivíduos e identificados 19 grupos taxonômicos. O maior número desses indivíduos foi verificado na área 3-CV e o menor na 2-CV (Tabela 5). Do total de 19 grupos identificados, os que obtiveram maior contagem em todas as áreas amostradas foram Coleoptera (besouros, vagalumes, pirilampos) Díptera (moscas, varejeiras, mosquitos, mutucas) e Hymenoptera (formigas). Outro grupo que também obteve um número expressivo de indivíduos foi Araneae. Todavia, como o foco deste estudo é a fauna edáfica, foram separados os

grupos taxonômicos mais frequentemente encontrados no solo, sendo eles: Araneae, Chilopoda, Coleoptera, Diplopoda, Hymenoptera, Isopoda, Oligochaeta, Orthoptera e Hemiptera, abordados a seguir.

O maior número de indivíduos observados em 3-CV foi influenciado principalmente por dois grupos: Coleoptera e Hymenoptera. A área 2-CV foi a que apresentou a menor contagem, em contrapartida, revelou maior índice de diversidade de Shannon (H). Para o índice de uniformidade de Pielou (e), a área que apresentou maior valor também foi a 2-CV, revelando que a uniformidade de indivíduos representa um resultado mais positivo do que um grande número de um ou mais grupos dentro de uma comunidade ou área estudada. Esse resultado pode ser ainda mais reforçado através do índice de dominância de Simpson (Is), que também é favorável a 2-CV, demonstrando que quanto maior a frequência e a dominância de alguns grupos, menor será a diversidade. Esta afirmativa é confirmada pelas áreas 1-CO, 3-CO e 3-CV, as quais possuem dominância de grupos, fazendo com que o Is seja menor. 1-CO apresentou índices próximos a 2-CV e, devido à maior frequência de determinados grupos em relação a 2-CV, obteve um resultado pouco abaixo. (Tabela 6), (Figura 15).

Tabela 5 - Número total de indivíduos (pitfall e bloco) por grupo taxonômico coletados nas áreas cultivadas com hortaliças

Grupos taxonômicos	1-CO	3-CO	3-CV	2-CV
Araneae	135	87	183	168
Opiliones	1	0	0	0
Pseudoescorpiones	5	1	0	2
Chilopoda	38	0	5	59
Diplopoda	253	19	53	89
Pulmonata	11	32	0	0
Blattodea	1	0	0	5
Coleoptera	383	593	960	518
Diptera	227	806	881	373
Hemiptera	74	72	90	99
Hymenoptera	1037	1047	1164	256
Lepidoptera	35	12	27	1
Neuroptera	0	0	1	0
Orthoptera	82	458	63	13
Psocoptera	0	0	0	1
Trichoptera	0	0	0	2
Isopoda	202	6	24	22
Oligochaeta	111	26	17	54
Symphyla	3	4	0	4
Total	2598	3163	3468	1666

Figura 15 - Distribuição dos grupos de fauna edáfica identificados nas áreas cultivadas com hortaliças na região serrana do Espírito Santo

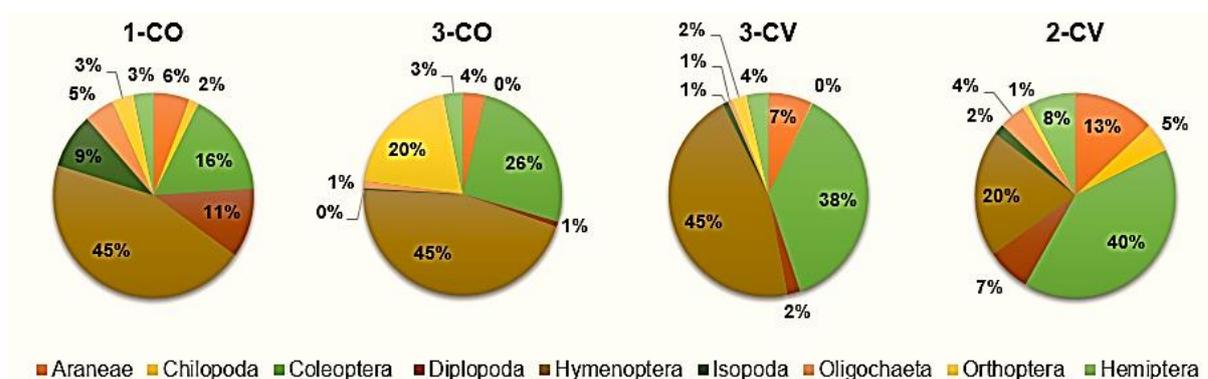


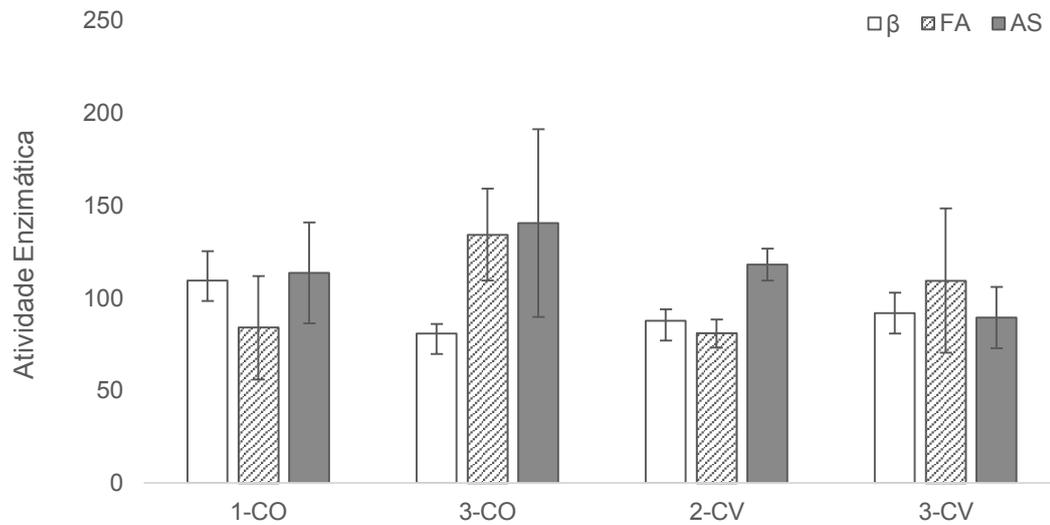
Tabela 6 - Grupos de fauna edáfica, número de indivíduos amostrados em cada método de coleta, índice de Shannon (H), índice de Pielou (e) e índice de Simpson (Is)

Fauna Edáfica	1-CO		3-CO		3-CV		2-CV	
	pitfall	bloco	pitfall	bloco	pitfall	bloco	pitfall	bloco
Araneae	124	11	85	2	180	3	161	7
Chilopoda	8	30	0	0	2	3	51	8
Coleoptera	345	38	578	15	938	22	505	13
Diplopoda	205	48	16	3	45	8	77	12
Hymenoptera	948	89	1025	22	1096	68	247	9
Isopoda	122	80	6	0	24	0	18	4
Oligochaeta	18	93	13	13	13	4	34	20
Orthoptera	82	0	458	0	63	0	13	0
Hemiptera	74	0	72	0	90	0	99	0
Total	2315		2308		2559		1278	
H	0,68	0,78	0,58	0,58	0,56	0,49	0,73	0,80
e	0,72	0,81	0,61	0,61	0,59	0,51	0,77	0,84
Is	0,71	0,82	0,68	0,71	0,65	0,55	0,75	0,83

3.3. Atividade Enzimática

Quanto à atividade enzimática, a β -glicosidase que é responsável pela decomposição da celulose e está associada à adição de material orgânico ao solo, apresentou valor superior na área 1-CO e inferior na área 3-CO. Para fosfatase ácida os níveis observados foram maiores na área 3-CO e decresceram na seguinte ordem: 3-CV, 1-CO e 2-CV. Já para Arilsulfatase a área com maior atividade foi a 3-CO, seguida das áreas 2-CV e 1-CO, apresentando menor atividade na área 3-CV (Figura 16).

Figura 16 - Atividade enzimática das áreas 1-CO, 3-CO, 2-CV e 3-CV



β = β -glicosidase em mg PNG/kg; FA= fosfatase ácida em mg PNF/kg e AS= Arilsulfatase em mg PNS/kg

3.4. Emissão de CO₂ (Respiração Basal)

A temperatura do solo variou de 23 a 34°C, e a umidade do solo de 0,134 a 0,290 m³/m³ entre as áreas sob diferentes manejos. A variação de temperatura do solo ocorreu principalmente devido às diferenças de horário em que foram realizadas as coletas de amostras e dos dados (Tabela 7).

A maior emissão de CO₂ (R25) obteve-se na área 2-CO, seguida pelas áreas 2-SC, 3-CV 3-CO e MT e, o menor valor observado foi na área 1-CO. O Q10 variou de 1,16 a 6,87 enquanto o quociente metabólico foi de 4,29 a 37,99 mg CO₂/μg CBM (Tabela 7).

Tabela 7 - Valores de temperatura, Umidade, emissão de CO₂, emissão de CO₂ ajustada para 25°C, proporção da emissão de CO₂ quando a temperatura aumenta 10°C (Q10) e quociente metabólico (qCO₂) nas áreas cultivadas com hortaliças na região serrana do Espírito Santo

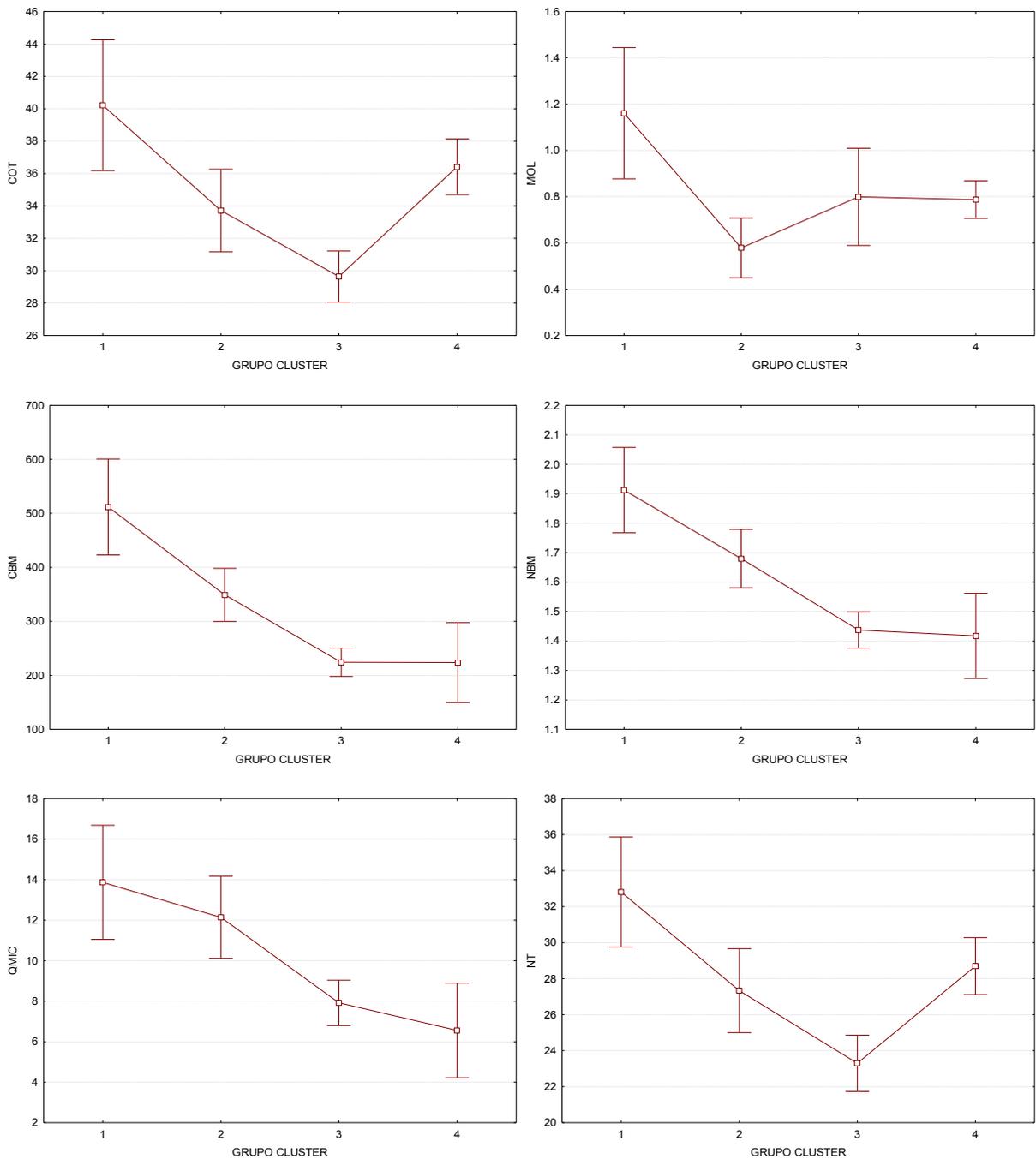
Áreas	Temp. °C	Umidade m ³ /m ⁻³	CO ₂ μmol m ⁻² s ⁻¹	R25 μmol m ⁻² s ⁻¹	Q10	qCO ₂ mg CO ₂ /μg CBM
1-CV	30,99	0,225	2,66	1,61	6,87	37,99
2-CV	31,17	0,169	2,11	1,74	2,02	13,76
3-CV	25,21	0,233	4,21	4,02	2,91	11,58
4-CV	26,85	0,239	2,14	2,08	1,36	5,82
5-CV	25,46	0,253	1,54	1,58	1,39	11,08
6-CV	31,04	0,200	2,81	2,85	1,32	21,06
7-CV	30,52	0,268	1,79	1,68	1,38	14,28
8-CV	25,57	0,134	2,02	2,22	1,16	17,26
1-SC	31,04	0,201	3,36	2,70	2,38	11,79
2-SC	26,04	0,149	5,26	5,46	1,31	18,74
1-CO	34,27	0,212	1,87	1,38	3,64	10,04
2-CO	24,20	0,235	6,05	6,17	1,37	17,57
3-CO	30,32	0,290	4,47	3,72	2,32	9,14
MT	23,44	0,271	3,1900	3,36	1,73	4,29

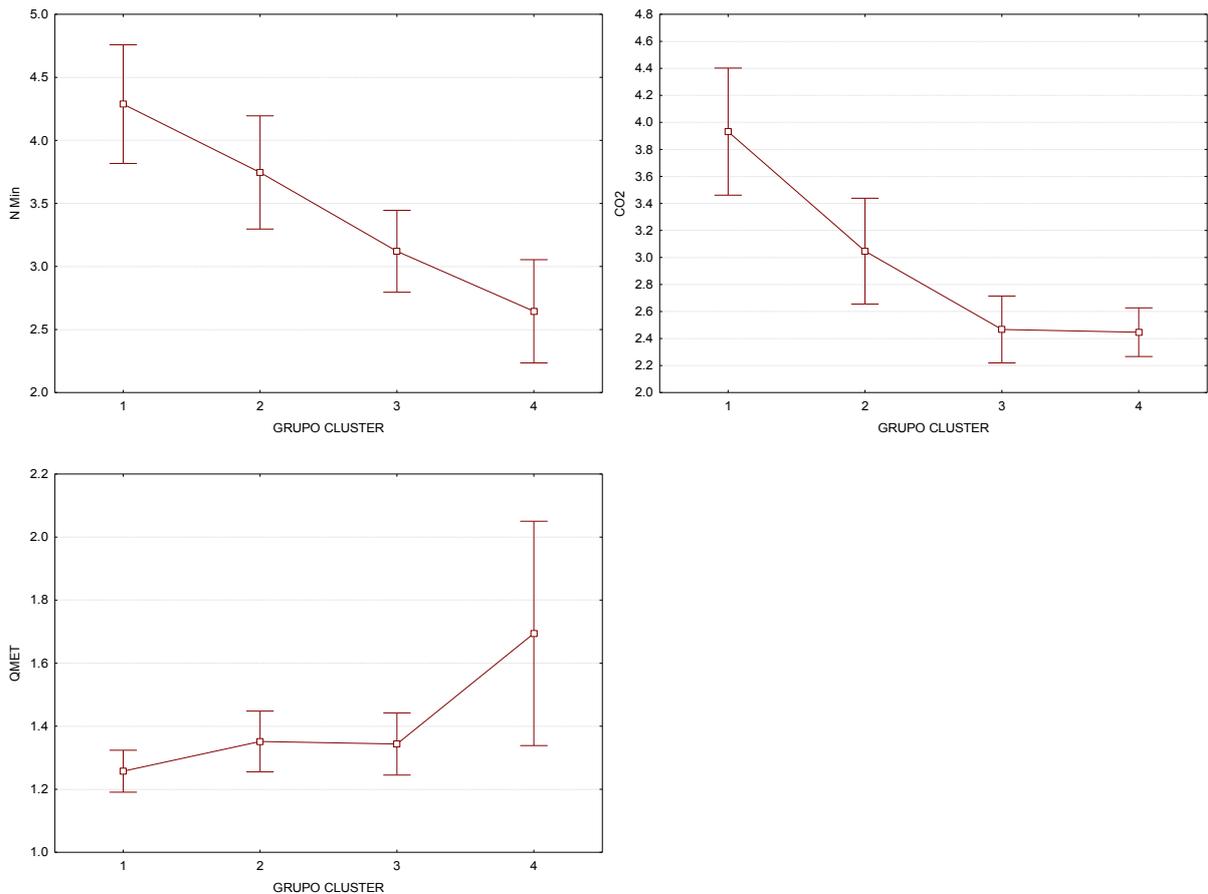
3.5. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de agrupamento (Cluster Analysis) e as áreas cultivadas com hortaliças sob diferentes sistemas de manejo foram agrupadas em 4 grupos distintos: grupo 1 (2-CO, 3-CO, 1-SC, 2-SC, 2-CV e 5-CV), grupo 2 (1-CO, 2-CO, 1-SC, 2-CV, 3-CV, 6-CV, 7-CV e 8-CV), grupo 3 (1-CO, 2-SC, 4-CV, 5-CV e 6-CV) e grupo 4 (1-CV e 4-CV) (Dendograma de similaridade – Figura 8, Cap. 1))

Os 4 agrupamentos formados uniram áreas de manejos diferentes, agrupando áreas orgânicas com convencionais e semiconvencionais, esse resultado evidencia o efeito das técnicas e práticas de manejo adotadas e não o tipo de sistema de manejo adotado como pressuposto.

Figura 17 - Média e erro padrão dos atributos biológicos analisados neste capítulo na profundidade de 0-20 cm nos 4 grupos formados a partir da análise de agrupamento





Carbono orgânico total (COT) = g kg⁻¹; matéria orgânica leve (MOL) = g kg⁻¹; carbono da biomassa microbiana (CBM) = μg g⁻¹; nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) = mg kg⁻¹; quociente microbiano (QMIC) = %; nitrogênio total (NT) = g kg⁻¹; nitrogênio mineralizável (Nmin) = mg kg⁻¹; emissão de CO₂ (CO₂) = μmol m² s⁻¹; quociente metabólico (QMET ou QCO₂) = mgCO₂/μg CBM

Em relação aos atributos biológicos do solo o grupo 1 composto pelas áreas 2-CO, 3-CO, 1-SC, 2-SC, 2-CV e 5-CV lidera a grande maioria das medições efetuadas. Detém os maiores valores de COT, MOL, CBM, NBM, CO₂, NT, Nmin e Qmic. É possível observar uma tendência de decréscimo desses valores à medida que os grupamentos avançam, ou seja, depois do grupo 4 com os valores mais elevados, vem o grupo 2 (1-CO, 2-CO, 1-SC, 2-CV, 3-CV, 6-CV, 7-CV e 8-CV) e o grupo 3 (1-CO, 2-SC, 4-CV, 5-CV e 6-CV) com valores medianos e por último o grupo 4 (1-CV e 4-CV), que apresentou os menores valores de CBM, NBM, Qmic, Nmin e emissão de CO₂. Esses resultados indicam que a análise estatística não promoveu a divisão das áreas de acordo com o tipo de manejo como esperado, mas evidenciou as áreas que promovem maior diversidade de técnicas para melhoria da qualidade do solo.

4. DISCUSSÃO

Os teores de COT foram considerados altos em todas as áreas estudadas (PREZOTTI et al., 2007). Esse resultado está relacionado à adubação feita com esterco compostado de frango na grande maioria das áreas de cultivo. Este material é uma fonte importante de nutrientes e que muito contribui para o aumento dos teores de matéria orgânica do solo, corroborando com os resultados encontrados em diversos trabalhos (TRANI et al., 2013; HANISH et al., 2012; VALADÃO et al., 2011) e com a análise de agrupamento, já que os maiores valores de COT encontram-se no agrupamento 1, caracterizado por áreas que efetuam adubação orgânica com esterco compostado de frango (exceto por 2-SC e 5-CV). Além da adubação com esterco compostado de frango, a rotação de culturas realizadas nas áreas estudadas também contribuiu com os altos teores de COT no solo. Nas propriedades em que a rotação de cultura é mais diversificada ocorre um incremento na matéria orgânica do solo tal como verificado por Santos et al., (2008) e evidenciado pela análise de agrupamento. A área 2-CO que apresentou o maior teor de COT, além de adotar práticas de adubação orgânica e rotação de cultura, faz aplicação de carvão vegetal no solo, o que possivelmente pode explicar resultados mais elevados para COT (DE LIMA et al., 2011).

Os valores de NT mais altos também podem ser relacionados à adubação com esterco compostado de frango, a qual é rica em nutrientes como N, P e K, conforme verificado nos estudos de Fioreze e Ceretta (2006). Além disso, o NT é proporcional ao teor de COT encontrado nos solos das áreas deste estudo apresentando correlação positiva ($r=0,97$) e comprovado pela análise de agrupamento, na qual os gráficos de COT e NT são similares. Esses resultados reforçam a relação benéfica que a matéria orgânica exerce nos valores de NT, a qual promove a conservação deste elemento no sistema e é a maior reserva de N orgânico no solo (RODRIGUES, 2019).

A variação nos valores de MOL está relacionada principalmente ao tipo de manejo e às culturas agrícolas implementadas. Os solos das áreas com maiores resultados foram agrupados no grupo 1 da análise estatística (2-CO, 2-SC, 1-SC, 3-CO, 2-CV e 5-CV) apresentam suas particularidades. Os maiores valores obtidos em 2-CO e 2-

SC podem ocorrer devido à incorporação dos restos culturais, tal como verificado por Fontana et al. (2011), em seus estudos de avaliação dos compartimentos da matéria orgânica. O solo da área 2-CO, teve seu resultado influenciado pela incorporação de restos culturais, menor revolvimento do solo, aporte de matéria orgânica proveniente de capinas da própria área, adubação verde e rotação de culturas. O resultado de 2-SC foi influenciado principalmente pela rotação de culturas e incorporação dos restos culturais ao solo, a qual, antes de proceder o cultivo de tomate, promoveu o cultivo de milho e cobertura do solo com braquiária, corroborando com os resultados encontrados por Pereira et al. (2010).

Quanto ao Nmin, no geral, à medida que o uso do solo se intensificava e com a baixa adoção de práticas favoráveis à qualidade do solo, os teores de Nmin diminuía (essa afirmação é visível na classificação dos grupos, 1 com valores mais elevados, passando pelos grupos 2,3 até o grupo 4 com os menores valores dos atributos biológicos do solo). Esse resultado é consequência da estreita relação entre a MOS e o nitrogênio. As alterações provocadas pelas práticas de manejo do solo, causam mudanças qualitativas e quantitativas na matéria orgânica e consequentemente afetam a quantidade e as formas de N no solo, a mineralização e a disponibilidade de N, devido aos efeitos na atividade microbiana e na reserva de N orgânico. (SHARIFI et al., 2008; BETTIOL, 2018). A análise de correlação foi positiva para Nmin e NBM ($r=0,84$), reforçando a relação existente entre a MOS, os teores de N e a atividade da biomassa microbiana.

Para o CBM, o grupo 1 (2-CO, 3-CO, 1-SC, 2-SC, 2-CV e 5-CV) apresentou valores mais elevados e, à medida que o uso do solo se intensificava e o número de práticas conservacionistas adotadas diminuía, o CBM diminuiu. Esse mesmo comportamento foi observado para NBM, com valores maiores para o grupo 1 (2-CO, 3-CO, 1-SC, 2-SC, 2-CV e 5-CV). O menor revolvimento do solo e a maior diversidade cultural (2-CO, 3-CO, 1-SC) favorecem o acúmulo e a qualidade da matéria orgânica do solo, o que irá influenciar de maneira positiva os níveis de umidade e a temperatura, promovendo o desenvolvimento e a preservação dos organismos (MATSUOKA et al., 2003).

O quociente microbiano (qMIC) indica quanto de carbono orgânico do solo está imobilizado na biomassa microbiana. Dessa maneira, as áreas que apresentaram menor eficiência dos micro-organismos na imobilização do carbono (1-CV e 4-CV do grupo 4) podem estar sob alguma condição de estresse, provocado principalmente pela quantidade e/ou qualidade da matéria orgânica do solo, ou ainda, essa condição pode ser atribuída a algum fator limitante à atividade da biomassa microbiana como pH, práticas de manejo, revolvimento do solo, deficiência nutricional, etc., restringindo a capacidade de utilização de C e gerando perdas de C no solo. (DE ARAÚJO; MONTEIRO, 2007; CARDOSO et al., 2009; SILVA et al., 2012).

Quanto à fauna edáfica, as populações de formigas (Hymenoptera) e Coleoptera apresentaram maior frequência em todas as áreas, representando mais de 50% da ocorrência total. As formigas, em especial, são amplamente encontradas no solo e exercem papel importante para estrutura, transporte de matéria orgânica, influenciando na disponibilidade de nutrientes para plantas e micro-organismos, além do fato de que a construção de galerias afeta positivamente na capacidade de armazenamento e distribuição de água no solo. (VASCONCELOS, 2008; BARETTA et al., 2011). As famílias de Coleoptera, também são eficientes em serviços ambientais, realizam escavações e atuam ativamente do acúmulo de matéria orgânica que é incorporada no solo em diversas profundidades (LOUZADA, 2008).

A maior ocorrência de grupos predadores e decompositores como as formigas (Hymenoptera), coleópteras e de aranhas (Araneae) nas áreas 1-CO e 3-CO pode estar associada à diversidade florística ao redor da área de cultivo. 1-CO por ser uma área de cultivo orgânico, seus arredores são amplamente ocupados por diversas culturas, e o solo encontra-se coberto de restos vegetais, tal como a área 3-CO e 3-CV que se localizam próximas de áreas de mata. Além disso, em 3-CV o solo apresentava restos culturais na superfície, o que favorece o aumento da densidade de predadores. Na área 2-CV, o menor número de indivíduos pode ser relacionado à aplicação de agroquímicos, operações de preparo do solo e por não estar tão próxima a áreas nativas. Resultados semelhantes foram encontrados por Baretta et al., (2003) em seus estudos de fauna afetada pelo manejo do solo e por Cividanis (2002), em efeitos do sistema de plantio e consorciação sobre artrópodes no solo. Entretanto,

vale lembrar que as formigas são constantemente observadas em áreas mal manejadas, sendo fundamental para estudos de impacto ambiental (ALVES et al., 2008).

Os índices de diversidade de Shannon (H), de uniformidade de Pielou (e) e o de dominância de Simpson (Is) foram maiores na área 2-CV, seguida por 1-CO com valores bem próximos, 3-CO e 3-CV com os mais baixos índices. Apesar de 2-CV ser uma área de cultivo convencional e apresentar o menor número de indivíduos, a menor dominância de determinados grupos, fez com que seus índices fossem superiores. Como os índices apresentam valores bem próximos, esses resultados demonstram a não diferenciação dos tipos de manejo, e sim como as técnicas aplicadas em cada área podem influenciar na fauna edáfica e conseqüentemente na qualidade de solos.

Uma observação considerável é a população de minhocas (Oligochaeta) que estão entre os organismos mais importantes do solo pelas funções que desempenham, tais como ciclagem de nutrientes, a construção de túneis que afetam a estrutura, aeração e dinâmica da água do solo, além da geração do húmus (PARRON et al., 2015). Também podem atuar como indicadores de qualidade por serem sensíveis à poluição do solo por pesticidas e metais pesados (BARETTA et al., 2011). Sob essa ótica, a área 3-CV que apresentou a menor população de minhocas dentre as áreas amostradas, pode estar sendo influenciada pelos teores de elementos-traço, os quais atingiram os valores de prevenção estabelecidos pelo CONAMA para Cd, Co, Cr e obteve valor próximo ao VP para As na profundidade de 0-20 cm. Em 1-CO, mesmo tendo atingido o VP para Cu, este não afetou a população de minhocas.

A maior atividade enzimática da β -glicosidase, responsável pela decomposição da celulose e associada à ciclagem de C, verificada na área 1-CO pode ser atribuída à adição de material orgânico, proveniente principalmente de adubação orgânica com esterco compostado de frango. A área com menor resultado obtido (3-CO) consiste em uma propriedade com cultivo de hortaliças folhosas, a qual apresenta menor incremento de matéria orgânica ao solo proveniente dos restos culturais, além disso o preparo dos canteiros é constante, devido ao curto ciclo da maioria das hortaliças

cultivadas, o que pode estar contribuindo para a menor atividade da β -glicosidase, corroborando com os resultados encontrados por Passos et al. (2008), que avaliaram os níveis da β -glicosidase em solos com solarização e adição de cama de frango.

Diversos trabalhos relacionam os maiores níveis de atividade da fosfatase ácida à qualidade da matéria orgânica, aos teores de COT, à disponibilidade de P e aos maiores teores de CBM (MATSUOKA et al., 2003; EVANGELISTA et al., 2012; SILVA et al., 2012). A área com maior atividade enzimática da fosfatase ácida (3-CO) apresentou esse resultado, possivelmente devido ao maior teor de CBM observado dentre as áreas com avaliação enzimática. Sendo assim, como o teor de CBM é maior, o teor de P orgânico contido na biomassa microbiana será maior, favorecendo os maiores níveis da fosfatase ácida.

No tocante a arilsulfatase, sua atividade é afetada principalmente pelo teor de matéria orgânica, a qual consiste na principal fonte de éster de sulfato, utilizados como substrato pela arilsulfatase, e pela biomassa microbiana do solo, sendo que os fungos e as bactérias também são considerados fontes de ésteres de sulfato (NOGUEIRA, MELO, 2003; BALOTA et al., 2004). Logo, a área com maior atividade da arilsulfatase (3-CO) apresenta também os maiores níveis de CBM, o que pode estar influenciando a atividade enzimática. Apesar da maior atividade enzimática das enzimas fosfatase ácida e arilsulfatase na área 3-CO, as demais áreas (1-CO, 2-CV e 3-CV) apresentaram atividade semelhante, o que provavelmente relaciona-se com as práticas de manejo adotadas e não necessariamente com o sistema de manejo empregado.

Quanto à respiração basal, que é a oxidação biológica da matéria orgânica a CO_2 pelos micro-organismos aeróbios do solo, as maiores medições obtidas nas áreas 2-CO, 3-CO, 1-SC, 2-SC, 2-CV e 5CV (grupo 1), podem sofrer influência da umidade, temperatura, disponibilidade de substrato e teores de COT (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). No caso dos dados encontrados nesse estudo, as maiores taxas de emissão de CO_2 apresentam correlação positiva em relação aos teores de COT ($r=0,62$). A área MT, também obteve considerável respiração basal, e este fato pode ser explicado pelo constante acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo e pela qualidade

desta, o que irá promover a atividade biológica sob essa área, corroborando assim com diversos estudos a respeito da maior emissão de CO₂ em áreas nativas (PEZARICO et al., 2013; FERREIRA et al., 2015).

Em relação ao quociente metabólico (qCO₂), que indica a eficiência da biomassa em utilizar o carbono disponível para biossíntese, valores mais elevados podem indicar perdas de C no sistema na forma de CO₂. As áreas agrícolas com valores mais elevados (grupo 4 – 1-CV e 4-CV) podem relacionar-se com o processo de mineralização da biomassa microbiana, o que provoca redução da comunidade (MARTINS et al., 2010). Esse aumento na respiração basal pode se caracterizar como um indício de estresse, dessa maneira, sob condições adversas (uso e manejo intenso do solo), a biomassa microbiana irá redirecionar a energia para o metabolismo celular em detrimento ao crescimento e à reprodução, de maneira que uma parcela do CBM será perdida como CO₂ (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Os agrupamentos obtidos por similaridade, considerando os atributos biológicos do solo, não expressam a diferenciação entre as áreas quanto ao tipo de manejo. Observa-se, por exemplo, que o grupo 1 (2-CO, 3-CO, 1-SC, 2-SC, 2-CV, 5-CV), é formado por áreas de manejo orgânico, semiconvencional e convencional. Estas apresentam conformidades e diversidade nas técnicas de manejo, influenciando mais os resultados do que o sistema de manejo como pressuposto.

Considerando o histórico de uso e manejo de cada área, o grupo 1 é constituído por áreas que promovem o menor revolvimento do solo a cada cultivo, como nas áreas 1-SC que fazem apenas aração, a área 5-CV caracterizada pela prática de terraceamento e cultivo em nível, e as áreas 2-CO e 3-CO que preparam o solo com microtrator. O menor número de operações no revolvimento do solo afeta a dinâmica da matéria orgânica do solo e conseqüentemente a atividade dos organismos edáficos. Esse grupo também é marcado por prática agrícolas que promovem o incremento de matéria orgânica ao solo, a adição de nutrientes o que conseqüentemente influenciará no desenvolvimento da biomassa microbiana (ALVES et al. 2006). 2-CO é marcada pela diversidade de práticas agrícolas que promovem a melhoria da qualidade do solo como, rotação de cultura, pousio,

adubação verde (*Crotalaria juncea*), adubação orgânica, incorporação dos restos culturais ao solo, uso de plantas de cobertura e aplicação de carvão vegetal ao solo. Todas são práticas que beneficiam os atributos biológicos do solo. (BARRETA et al., 2003; MATSUOKA et al., 2003; SANTOS et al., 2008; DE LIMA et al., 2011). A correção da fertilidade é efetuada em toda troca de cultivo, bem como a rotação de cultura ocorre em todas as áreas do agrupamento. 1-SC efetua o pousio e é caracterizada pela diversidade de culturas na propriedade, assim como em 3-CO. 2-SC promove pousios longos com pastagens (*braquiária*). 2-CV promove o pousio com vegetação espontânea ou plantio de leguminosas e adubação orgânica. O controle de pragas e doenças ocorre simultaneamente ao aparecimento destas, com exceção de 5-CV que realiza controle preventivo.

Nos grupos 2 (1-CO, 2-CO, 1-SC, 2-CV, 3-CV, 6-CV, 7-CV, e 8-CV) e 3 (1-CO, 2-SC, 4-CV, 5-CV e 6-CV) ocorreu a junção de áreas de sistema de manejo orgânico, semiconvencional e convencional. De acordo com o histórico de uso e manejo das propriedades, a maioria das áreas é cultivada com tomate. O preparo do solo é feito em cada troca de cultivo por meio de aração e gradagem ou enxada rotativa (2-CV, 3-CV, 4-CV, 6-CV, 8-CV), utilizando microtrator (1-CO e 2-CO) ou sob terraços em nível (5-CV e 7-CV). A correção da fertilidade é efetuada em toda troca de cultivo para todas as áreas (exceto por 8-CV que efetua calagem eventualmente), bem como a rotação de cultura ocorre em todas as áreas dos dois agrupamentos. Todas as áreas do grupo 2 fazem adubação orgânica com esterco compostado de frango, exceto pelas áreas 6-CV e 7-CV, no grupo 3 apenas 1-CO e 4-CV fazem adubação orgânica. As áreas 6-CV, 7-CV (grupo 2), 4-CV e 5-CV (grupo 3) realizam controle preventivo de pragas e doenças. Observa-se que a diversidade nas práticas agrícolas começa a se restringir a rotação de cultura, pousio em algumas áreas e maior frequência nas operações de preparo do solo para quase todas as áreas dos grupos 2 e 3. Isso pode ser verificado nos gráficos de média e erro padrão dos atributos biológicos (Figura 17), nos quais os grupos 2 e 3 concentram-se de maneira mediana entre os grupos 1 e 4, demonstrando a influência das técnicas de cultivo no atributos biológicos e conseqüentemente na qualidade edáfica.

Já o grupamento 4 constituído pelas áreas 1-CV e 4-CV difere-se dos demais grupos por ser formado apenas por áreas de manejo convencional. O preparo do solo é feito a cada troca de cultivo por meio de aração e gradagem (1-CV) ou enxada rotativa (4-CV), sendo o solo da área 4-CV preparado no sentido da declividade do terreno. A Fertilidade é corrigida com calagem e adubação química a cada troca de cultivo e a irrigação é por gotejamento na área 1-CV. A fertirrigação é empregada na 4-CV. O grupo promove a rotação de cultura, faz adubação orgânica com esterco compostado de frango, 1-CV realiza pousio curto, enquanto 4-CV não emprega a prática de pousio.

Por conseguinte é possível verificar que mais importante do que os diferentes sistema de manejo, são as técnicas e práticas adotadas no cultivo de hortaliças na região serrana do ES, as quais irão refletir significativamente na qualidade dos solos quanto mais forem empregadas, independentes do sistema de manejo adotado.

5. CONCLUSÕES

Os atributos biológicos avaliados não foram efetivos para diferenciar as áreas sob manejo convencional, daquelas sob manejo orgânico e das áreas de manejo semiconvencional.

A análise de agrupamento reuniu áreas de sistemas de manejos distintos, o que não permite concluir se os cultivos de hortaliças na região serrana do Espírito Santo sob diferentes sistemas de manejo são benéficos ou prejudiciais à qualidade dos solos. Entretanto, os resultados expressam o efeito das práticas e técnicas agrícolas adotadas, sendo um conjunto destas mais influentes na qualidade do solos do que os sistemas de manejo. O ideal seria a realização de novos estudos considerando tais práticas.

6. REFERÊNCIAS

- ACOSTA, M. et al. Soil surface CO₂ efflux measurements in Norway spruce forests: Comparison between four different sites across Europe — from boreal to alpine forest. **Geoderma**, v.192, p.295-303, 2013.
- ALVES, M. V. et al. Macrofauna do solo influenciada pelo uso de fertilizantes químicos e dejetos de suínos no oeste do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 589-598, 2008.
- ALVES, M. V. et al. Fauna edáfica em diferentes sistemas de cultivo no estado de São Paulo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 5, n. 1, p. 33-43, 2006.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, p. 66 - 75, 2007.
- BALOTA, E. L. et al. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 35, n. 4, p. 300-306, 2004.
- BARETTA, D. et al. Fauna edáfica avaliada por armadilhas e catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 2, n. 2, p. 97-106, 2003.
- BARETTA, D. et al. Fauna edáfica e qualidade do solo. **Tópicos em ciência do solo**, p. 119-170, 2011.
- BASTIDA, F. et al. Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective. **Geoderma**, v. 147, p. 159 - 171, 2008.
- BETTIOL, A. C. T. **Avaliação do nitrogênio orgânico mineralizável em solo cultivado com milho em sucessão a plantas de cobertura**. Tese de Doutorado, 2018.
- CARDOSO, E. L. et al. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.44, p.631-637, 2009.
- CARVALHO, J. V. D. S. et al. CO₂-C losses and carbon quality of selected Maritime Antarctic soils. **Antarctic Science**, 25, 11-18, 2012.
- CIVIDANES, F. J. Efeitos do sistema de plantio e da consorciação soja-milho sobre artrópodes capturados no solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 37, n. 1, p. 15-23, 2002.

DE LIMA, L. B. et al. Efeito do carvão vegetal na matéria orgânica de um plintossolo arenoso do cerrado. In **Embrapa Arroz e Feijão**. Resumo em anais de congresso, 2011.

DORAN, J.W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: Doran J.W., Jones, A.J., Methods for Assessing Soil Quality. **Soil Science Society of America**, p. 25-37, 1996.

EVANGELISTA, C. R. et al. Atividade enzimática do solo sob sistema de produção orgânica e convencional na cultura da cana-de-açúcar em Goiás. **Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado**, 2012.

FERREIRA, G. B. et al. Carbono da biomassa microbiana e respiração basal em solos com barragens subterrâneas no semiárido paraibano. In: Embrapa Solos - Artigo em anais de congresso. **Cadernos de Agroecologia**, v. 10, n. 3, 2015.

FIGUEIREDO, C.; CERETTA, C. A. Fontes orgânicas de nutrientes em sistemas de produção de batata. **Ciência Rural**, v.36, p.1788-1793, 2006.

FONTANA, A. et al. Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área de Mata Atlântica. **Acta Scientiarum, Agronomy**, v.33, p.545-550, 2011.

HANISCH, A. L. et al. Adubação do milho em um sistema de produção de base agroecológica: desempenho da cultura e fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.7, p.176-18, 2012.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 79, n. 1, p. 9-16, 2000.

KEENEY, D. R.; NELSON, D. W. Nitrogen inorganic forms. In: Page, A. L. (Ed.). Methods of soil analysis. Part 2. **Madison: American Society of Agronomy**, p.643-698. 1982.

LOUZADA, J. N. C. Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) detritivos em ecossistemas tropicais: diversidade e serviços ambientais. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, JO; BRUSSAARD, L. **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, p. 299-322, 2008.

MARTINS, C. M. et al. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, p. 1883-1890, 2010.

MATSUOKA, M. et al. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.425-433, 2013.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa, UFV, 2017.

NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n.4, p. 655-663, 2003.

PARRON, L. M. et al. Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica. **Embrapa Florestas-Livro científico**, 2015.

PASSOS, S. R. et al. Atividade enzimática e perfil da comunidade bacteriana em solo submetido à solarização e biofumigação. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 43, n. 7, p. 879-885, 2008.

PEREIRA, M. G. et al. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**. V.45, p.508-514, 2010.

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

PREZOTTI, L. C. et al. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: - 5ª aproximação**. Vitória, ES: SEEA; INCAPER; CEDAGRO, 2007. 305 p.

R Core Team. R: **A language and environment for statistical computing**, 2012.

RODRIGUES, A. A. **Qualidade de solos em diferentes coberturas vegetais no bioma Mata Atlântica-ES**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, 2019.

SANTOS, H. P. D. et al. Efeito de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas na fertilidade do solo, após vinte anos. **Bragantia**, v.67, p.441-454, 2008.

SHARIFI, M. et al. Response of potentially mineralizable soil nitrogen and indices of nitrogen availability to tillage system. **Soil Science Society of America Journal**, v.72, p.1124-1131, 2008.

SILVA, C. F. DA et al. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2012, v.36, p.1680-1689, 2012.

SILVA, I.R; MENDONÇA, E.S. **Matéria orgânica do solo**. In: NOVAIS, G.N.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, B.; NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.275-374, 2007.

SILVA, M. B. D. et al. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1755-1761, 2007.

SILVA, M. B. DA et al. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 12, p. 1755-1761, 2007.

SPAGNOLLO, E. et al. **Dinâmica da matéria orgânica em agroecossistemas submetidos a queima e manejos dos resíduos culturais**. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. **Methods of Soil Analysis: Part 2 Microbiological and Biochemical Properties**, v. 5, p. 775-833, 1994.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS/Departamento de Solos, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

THOMAZINI, A. et al. Impact of organic no-till vegetables systems on soil organic matter in the Atlantic Forest biome. **Scientia Horticulturae**, 182, 145-155, 2015.

TRANI, P. E. et al. **Adubação orgânica de hortaliças e frutíferas**. Campinas: IAC, 2013.

VALADÃO, F. C. D. A. et al. Variação nos atributos do solo em sistemas de manejo com adição de cama de frango. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, 2073-2082, 2011)

VASCONCELOS, H.L. Formigas do solo nas florestas da Amazônia de diversidade e respostas aos distúrbios naturais e antrópicos. **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, p.323-343, 2008.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A região serrana do Espírito Santo é caracterizada por deter grande parte da produção de hortaliças do estado. Dada sua importância econômico-social, já que a agricultura nessa área é caracterizada primordialmente como familiar e, considerando a escassez de estudos que avaliem os atributos dos solos e a qualidade edáfica, é essencial que as instituições de pesquisas junto aos produtores rurais promovam trabalhos que venham reparar a falta de informações e fornecer subsídios para mitigar o desconhecimento da aptidão e uso do solo frente às suas limitações, bem como para prevenir o avanço da degradação promovendo o equilíbrio entre a produtividade e o meio ambiente e, para permitir que o solo exerça suas diversas funções plenamente.

Este trabalho demonstrou que as áreas cultivadas promotoras de um conjunto de práticas agrícolas, que prezam pela conservação do solo (rotação de cultura, adubação orgânica, adubação verde, pousio, uso de plantas de cobertura, diversidade de cultivos, plantio em nível, maior atenção às operações de preparo do solo considerando, por exemplo, a declividade do terreno) obtiveram melhores resultados quanto a fertilidade, estrutura (DMP, PT, Ds), teores de COT, biomassa microbiana e conseqüentemente expressaram melhor qualidade dos solos independente do sistema de manejo adotado. É importante salientar sobre a necessidade de conhecer a realidade dos solos cultivados e o uso de agroquímicos, de maneira tal que a correção da fertilidade, bem como a aplicação de defensivos agrícolas seja feita da melhor maneira possível, evitando demasiadas aplicações, o que provocará a contaminação dos solos e o aumento dos teores de elementos-traço, por exemplo. A realização de análises de solo, sempre que possível, constitui uma importante ferramenta para que não ocorram faltas nem excessos.

Desta forma, o presente estudo comprova que a adoção de práticas conservacionistas, que considerem os atributos químicos, físicos e biológicos e as especificidades de cada propriedade como declividade do terreno, já que se trata de uma região serrana, podem ser favoráveis tanto para o ambiente, sem provocar-lhe danos ou destruí-lo, quanto para assegurar altas taxas de produtividade aos cultivos.

Como diria Prof.^a Dr.^a Ana Maria Primavesi “O segredo da vida é o solo, porque do solo dependem as plantas, a água, o clima e nossa vida. Tudo está interligado. Não existe ser humano sadio se o solo não for sadio...”, assim deveria ser na prática, considerar os agroecossistemas como um todo, sistematicamente, para que seja possível alcançar o equilíbrio produtivo, social e ambiental.

ANEXOS



1-CV



2-CV



3-CV



4-CV



5-CV



6-CV



7-CV



8-CV



Fonte: O autor