

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

Lucas Contarato Pilon

**INTERAÇÕES ENTRE A COBERTURA VEGETAL E OS ATRIBUTOS
DO SOLO EM CITROS CULTIVADO NOS SISTEMAS
CONVENCIONAL, ORGÂNICO E AGROFLORESTAL**

Santa Maria, RS
2017

Lucas Contarato Pilon

**INTERAÇÕES ENTRE A COBERTURA VEGETAL E OS ATRIBUTOS DO SOLO
EM CITROS CULTIVADO NOS SISTEMAS CONVENCIONAL, ORGÂNICO E
AGROFLORESTAL**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Físicos e Morfogenéticos do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Ciência do Solo**.

Orientador: Prof. José Miguel Reichert

Santa Maria, RS
2017

Pilon, Lucas Contarato

Interações entre a cobertura vegetal e os atributos do solo em citros cultivado nos sistemas convencional, orgânico e agroflorestal / Lucas Contarato Pilon.- 2017.
133 p.; 30 cm

Orientador: José Miguel Reichert

Coorientadores: Rodrigo Josemar Seminoti Jacques,
Elena Blume

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, RS, 2017

1. Manejo biodinâmico 2. Cromatografia circular de Pfeiffer 3. Teoria de Grafos I. Reichert, José Miguel II. Jacques, Rodrigo Josemar Seminoti III. Blume, Elena IV. Título.

Lucas Contarato Pilon

**INTERAÇÕES ENTRE A COBERTURA VEGETAL E OS ATRIBUTOS DO SOLO
EM CITROS CULTIVADO NOS SISTEMAS CONVENCIONAL, ORGÂNICO E
AGROFLORESTAL**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Físicos e Morfogenéticos do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Ciência do Solo**.

Aprovada em 30 de maio de 2017

José Miguel Reichert, PhD.
(Presidente/Orientador)

Rodrigo Josemar Seminote Jacques, Dr. (UFSM)

Elena Blume, PhD. (UFSM)

Mirla Andrade Weber, Dr.a (UNIPAMPA)

Sandra Beatriz Vicenci Fernandes, Dra. (UNIJUI)

Santa Maria, RS
2017

Ao meu pai, José Luiz,
à minha mãe, Maria Lúcia
e à minha irmã, Bárbara.
E aos agricultores: Luiz, Lirio, Irineu e suas famílias

Dedico

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, obrigado a Deus

Aos meus pais, José Luiz e Maria Lúcia, por estarem sempre juntos apesar da distância.

Aos profissionais que contribuíram para essa pesquisa.

Ao meu orientador José Miguel por acreditar na proposta de pesquisa e pelo acompanhamento a todo o momento, sempre presente e disposto.

À profa. Elena, pelo apoio, ensinamentos e cuidado ao longo dessa etapa.

Ao prof. Rodrigo pela co-orientação e pelas conversas e diálogos de muito aprendizado.

A comissão examinadora deste trabalho profa. Mirla Andrade Weber (Dra. UNIPAMPA), profa. Sandra Beatriz Vicenci Fernandes (Dra. UNIJUÍ), por terem aceitado o convite.

Ao prof. Gustavo Brunetto pela colaboração nas análises químicas.

Ao pesquisador Joel Henrique (Embrapa Clima Temperado), pela parceria na pesquisa com cromatografia e sempre com suporte.

Ao prof. Samuel Wolkveiss (UFRGS), pelo enorme incentivo desde o primeiro momento na pesquisa e aplicação de ferramentas matemáticas, em especial a Teoria de Grafos.

Ao prof. e grande amigo Salvador pelo auxílio na Teoria de Grafos e pela parceria ao longo desse período.

A pesquisadora Dra. Dörthe Holthusen pelos diálogos, orientações e motivação em todo momento oportuno.

Ao amigo Simon Blaser (agricultor biodinâmico de sentinela do sul), pelo envolvimento e direções.

Ao prof. Jean, meu muito obrigado, pelos diálogos, sabedoria e motivação incrível, sempre com o mesmo olhar para que seguisse firme na minha pesquisa.

Aos agricultores que acolheram a pesquisa de bom agrado e, acima de tudo me acolheram de maneira especial Luiz e família. Irineu e família, Lirio e família.

E às famílias que me acolheram de um modo singular e que fizeram a diferença, a Sra. Lúcia Reichert e filhos Seno, Maria Helena e Ita e seus próximos sempre solícitos e alegres.

À Sra. Leda Blume, pessoa fascinante por quem tenho muito carinho, o meu muito obrigado pelas prosas, companhia, paciência, sabedoria compartilhada e até traduções de artigo.

À Alícia e Ir. Zeli pelo cuidado, diálogos e amizade em momentos únicos durante toda a trajetória.

Ao amigo Rodrigo Jaskulski, por me proporcionar tanto conhecimento e sabedoria na agricultura biodinâmica.

Aos amigos Rafael e Fernanda, que com uma atenção incrível puderam contribuir e apoiar, sempre acreditaram nessa jornada.

À Thacya que sem sua presença isso não teria sido concretizado. Com muito carinho, atenção e cuidado esteve sempre presente, sem medir esforços. Pela poesia da vida em meio a tanto trabalho.

Aos amigos da Argentina, pessoas incríveis que são Raul Lapis, Sandra Sevier e Norma Primer que proporcionaram tanto aprendizado nos métodos sensíveis de análise, por compartilharem conhecimento e sabedoria preciosos. E, também, a todos amigos e colegas da Asociación Argentina de Agricultura Biológica-Dinámica (AABDA) que em algum momento, nos encontramos e compartilhamos muitas ideias que fizeram a diferença nesse período.

Ao pesquisador Bruno Follador (Nature Institute), pela parceria e conhecimento em cromatografia de Pfeiffer.

Ao laboratorista Flávio Fonti, pela força e por toda colaboração durante o curso.

Da maneira muito especial aos amigos e colegas dessa jornada Fábio, Cristina, Leo Andrés, Leandro, Juliana, Alan B., Emanuel, Alan E., Wiliam, Felipe B., Miriam, Samara, Patrícia, Rafael Ramon, Isabel, Elizeu, Luana, Diuli, Luiza, Simone, Marcelo, Camila, Karina Y., Ana Lúcia, Daiane.

À Jaqueline, pelo envolvimento na pesquisa em seu mestrado e parceria realizada, sem medir esforços sempre solícita, com muita ajuda e amizade.

Aos amigos Jean e Jordano, incansáveis no apoio e sempre solícitos.

À Franciele, além de uma extrovertida amizade, foi fundamental na medição das tensões das soluções para realização da estabilidade de agregado.

Aos amigos dos outros laboratórios que também ajudaram e foram essenciais na parceria e amizade: Edicarla, Carina, Roque Junior.

Aos amigos Daniele e Jean, sempre com uma amizade e apoio sem igual.

Ao agrônomo Daniel (Ecocitros), por seu tempo e parceria ao longo do estudo, por apresentar o rural de Montenegro e apresentar agricultores incríveis que fizeram parte da pesquisa.

Aos meus amigos e a todos que, de alguma forma, me auxiliaram na realização desse trabalho.

Seria impossível citar a todos aqui e descrever a importância que tiveram na minha formação como pesquisador e principalmente como ser humano. A todos, muito obrigado!

“[...] o solo exige que as pessoas também sejam simples para que elas possam amá-lo. Pois se as pessoas se acreditam muito poderosas e importantes, elas se esquecem do solo, elas se esquecem da sua origem, esquecem-se que na realidade, também pertencem a natureza. E isso nós não podemos esquecer nunca, porque se nós nos esquecermos disso, então a vida na terra acaba.”

(Ana Maria Primavesi, 2012)

RESUMO GERAL

INTERAÇÕES ENTRE A COBERTURA VEGETAL E OS ATRIBUTOS DO SOLO EM CITROS CULTIVADO NOS SISTEMAS CONVENCIONAL, ORGÂNICO E AGROFLORESTAL

AUTOR: Lucas Contarato Pilon
ORIENTADOR: José Miguel Reichert

Diversas formas de manejar os pomares têm sido usadas na citricultura, algumas das quais proporcionam eficiência, sustentabilidade e qualidade na produção e no ambiente. Para dar suporte a essas mudanças e para proporcionar compreensão sistêmica de agroecossistemas, foi desenvolvido o presente trabalho. Na primeira parte do estudo, o esforço foi direcionado na compreensão da qualidade do solo em suas características físicas, químicas e biológicas e também no estudo da vegetação herbácea. Na segunda parte, foram usadas técnicas que integram o agroecossistema de maneira sistêmica, em duas partes distintas em seu princípio e uso: primeira parte referente à cromatografia circular de Pfeiffer e na segunda parte abordagem matemática no estudo multivariado até a teoria de grafos. O trabalho foi conduzido no município de Montenegro, Região do Vale do Caí/RS, em propriedades que envolvem cinco condições: citros em sistema convencional, sistema orgânico (biodinâmico), sistema agroflorestal (biodinâmico) e duas áreas florestais. Os sistemas foram avaliados em três camadas (0-0,05, 0,05-0,20 e 0,20-0,40 cm) ao longo de quatro períodos. Com a cromatografia circular de Pfeiffer foram determinados os padrões expressivos de forma e coloração de cromatogramas, bem como sua relação com padrões de referência. Os resultados experimentais mostram que os sistemas de uso e manejo apresentaram comportamento diferenciado para grande parte dos atributos estudados. Sistemas mais diversos como manejo orgânico e agroflorestal foram distintos ao manejo convencional com melhores resultados de pH, fósforo, CTC e carbono orgânico total, densidade do solo e sistema poroso e a vegetação herbácea apresentou maior riqueza e abundância. O sistema agroflorestal, superior aos demais no pH, microporosidade e comportamento alimentar da fauna do solo, resulta como um sistema mais estável. O uso da cromatografia de Pfeiffer permitiu caracterizar e propor uma compreensão distinta dos agroecossistemas frente aos métodos clássicos de análise do solo, foram testados parâmetros computacionais afim de informatizar a técnica, no entanto parâmetros visuais de análise seguem como mais eficientes. A análise dos sistemas com a técnica multivariada proporcionou sua melhor compreensão e observação da semelhança entre os sistemas estudados, com bases nas variáveis selecionadas. A teoria de grafos foi discutida com base no arranjo estrutural das variáveis dentro de um agroecossistema, afim de integrar variáveis do solo e cobertura, e com possibilidades promissoras que permitem avanços para a agricultura sustentável.

Palavra – chave: Manejo biodinâmico. Cromatografia circular de Pfeiffer. Teoria de Grafos.

GENERAL ABSTRACT

INTERACTIONS BETWEEN COVER AND SOIL PROPERTIES ON CITROS CULTIVATED IN CONVENTIONAL, ORGANIC AND AGROFLORESTAL SYSTEMS

AUTHOR: Lucas Contarato Pilon

ADVISOR: José Miguel Reichert

Several ways of managing orchards have been used in citrus farming, some of that provide efficiency, sustainability and quality in production and the environment. To support these changes and advances to provide a systemic understanding of agroecosystems, the present work was developed. In the first chapter the effort was directed at understanding soil physical, chemical and biological properties as well as the herbaceous cover. In the second chapter techniques that integrate the agroecosystem in a systemic way were used in two distinct parts according principle and use: the first part referring to the Pfeiffer's circular chromatography and in the second part mathematical approach multivariate analysis graph theory. The work was carried out in the municipality of Montenegro, Vale do Caí Region/RS, in five conditions: citros in a conventional system, organic system (biodynamic), agroforestry system (also biodynamic) and two forest areas. The agroecosystems were evaluated at three layers (0-0.05, 0.05-0.20 and 0.20-0.40 m) over four times. Pfeiffer's circular chromatography was used to determine expressive patterns as form and color of chromatograms, as well as their relation with reference standards. The experimental results show that the systems of use and management presented different behavior for most of the properties studied. Different systems such as organic and agroforestry management were distinct from the conventional management with better results pH, phosphorus, CEC and total organic carbon, bulky density and soil porous system, herbaceous cover health and abundance. In the agroforestry system, in turn was better than others in the pH, microporosity and behavior of the fauna of the soil, results as more stable state system. The use of Pfeiffer chromatography allowed to characterize and propose a different understanding of the agroecosystems before the classic methods of soil analysis. Computacional parameters were tested in order to computerize the technique, however visual parameters of analysis continue to be more efficient. Agroecosystems analysis with the multivariate technique provided a better understanding of the systems, allowing us to observe the similarity between the systems studied based on the selected variables. The graph theory was discussed based on the structural frame of the variables within an agroecosystem, in order to integrate soil variables and coverage and with promising possibilities that allow advances in a sustainable agriculture.

keywords: Biodynamic manegement. Pfeiffer circular chromatography. Graphs Theory.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Modelo de uma estrutura de um grafo bipartido para interação de um conjunto diversidade planta-animal (a). O modelo representa dados binários, em b os quadrados pretos representam quando há interação planta/animal. C é a matriz de dados, simétrica. Os vértices são representados por números e as arestas por letra.28
- Figura 2 - Localização das glebas de pesquisa, área 1: citros convencional (Cc); área 2: citros biodinâmico (Co); área 3: citros agroflorestal (Cs); área 4: floresta regeneração 40 anos (Mata Atlântica) (F40). Na figura não aparece a localização da área F200, que corresponde à quinta área da pesquisa.....34
- Figura 3 - Espacialização do grid amostral em cada parcela (30 x 34m). Área 1: citros convencional (Cc), área 2: citros biodinâmico (Co), área 3: citros agroflorestal biodinâmico (Cs), área 4: floresta 40 anos regeneração (F40) e área 5: floresta 200 anos de regeneração (F200).....36
- Figura 4 - Esquema laboral para a determinação da estabilidade de agregados..... 39
- Figura 5 - Imagem fotográfica da execução do procedimento de determinação da estabilidade de agregados. A sequência das soluções é a mesma do esquema na figura 4.40
- Figura 6 - Proporções da Lâmina Bait com o detalhe dos orifícios que são preenchidos com mistura alimentar.41
- Figura 7 - Carbono orgânico total do solo, (COT (dag kg^{-1})), nas camadas a (0 a 0,05 m), b (0,05 a 0,20 m) e c (0,20 a 0,40 m) e em quatro períodos de coleta de citros em cultivo convencional (Cc), citros em cultivo agroflorestal (Cs), citros em cultivo orgânico (Co), floresta com 40 anos de regeneração (F40), floresta com 200 anos de regeneração (F200). Contrastes ortogonais pelo teste F a 5%, C1 = Florestas vs. Citros, C2 = Co + Cs vs. Cc, C3 = Cs vs. Co, e C4= F200 vs. F40.47
- Figura 8 – Curva características de retenção de água no solo das áreas em estudo: Cc-citros em cultivo convencional, Cs-citros em cultivo agroflorestal, Co-citros em cultivo orgânico, F40-floresta com 40 anos de regeneração, F200-floresta com 200 anos de regeneração, agrupadas nas camadas a (0 a 0,05 m), b (0,05 a 0,20 m) e c (0,20 a 0,40 m).....50
- Figura 9 - Gráficos de estabilidade de agregados de acordo com o tempo de imersão. Os três conjuntos representam a EA nas camadas a (0 a 0,05 m), b (0,05 a 0,20 m) e c (0,20 a 0,40 m) e na coleta realizada no período 1. Cc-citros em cultivo convencional, Cs-citros em cultivo agroflorestal, Co-citros em cultivo orgânico, F40-floresta com 40 anos de regeneração, F200-floresta com 200 anos de regeneração. Contrastes ortogonais pelo teste F a 5%, C1 = Florestas vs. Citros, C2 = Co + Cs vs. Cc, C3 = Cs vs. Co, e C4= F200 vs. F40.54
- Figura 10 - Gráficos de estabilidade de agregados de acordo com o tempo de imersão. Os três conjuntos representam a EA nas camadas a (0 a 0,05 m), b (0,05 a 0,20 m) e c (0,20 a 0,40 m) e na coleta realizada no período 3. Cc-citros em cultivo convencional, Cs-citros em cultivo agroflorestal, Co-citros em cultivo orgânico, F40-floresta com 40 anos de regeneração, F200-floresta com 200 anos de regeneração. Contrastes ortogonais pelo teste F a 5%, C1 = Florestas vs. Citros, C2 = Co + Cs vs. Cc, C3 = Cs vs. Co, e C4= F200 vs. F40.55
- Figura 11 - Atividade alimentar média da família em cada período, na camada padrão de 7,5 cm, em Cc-citros em cultivo convencional, Cs-citros em cultivo agroflorestal, Co-citros em cultivo orgânico, F40-floresta com 40 anos de regeneração, F200-floresta com 200 anos de regeneração. Contrastes ortogonais pelo teste F a 5%, C1 =

	Florestas vs. Citros, C2 = Co + Cs vs. Cc, C3 = Cs vs. Co, e C4= F200 vs. F40. Barras de erro padrão.	59
Figura 12	- Atividade alimentar da fauna do solo no Período 1, na camada até 7,5 cm. Legenda: Cc-citros em cultivo convencional, Cs-citros em cultivo agroflorestal, Co-citros em cultivo orgânico, F40-floresta com 40 anos de regeneração, F200-floresta com 200 anos de regeneração. Barras de erros padrão.	60
Figura 13	- Atividade alimentar da fauna do solo no Período 2, na camada até 7,5 cm. Legenda: Cc-citros em cultivo convencional, Cs-citros em cultivo agroflorestal, Co-citros em cultivo orgânico, F40-floresta com 40 anos de regeneração, F200-floresta com 200 anos de regeneração. Barras de erros padrão.	61
Figura 14	- Atividade alimentar da fauna do solo no período 3, na camada até 7,5 cm. Legenda: Cc-citros em cultivo convencional, Cs-citros em cultivo agroflorestal, Co-citros em cultivo orgânico, F40-floresta com 40 anos de regeneração, F200-floresta com 200 anos de regeneração. Barras de erros padrão.	62
Figura 15	- Atividade alimentar da fauna do solo no período 4, na camada até 7,5 cm. Legenda: Cc-citros em cultivo convencional, Cs-citros em cultivo agroflorestal, Co-citros em cultivo orgânico, F40-floresta com 40 anos de regeneração, F200-floresta com 200 anos de regeneração. Barras de erros padrão.	63
Figura 16	- Detalhes do preparo do papel filtro e do capilar necessários para realização da análise.....	80
Figura 17	- Exemplo de padrões de CCP, com a delimitação de zonas e características observadas para interpretação, acima. Abaixo da esquerda para direita: o aumento do desenvolvimento dos padrões, características radiais (plumas e picos), intensidade de cor, equilíbrio e integração entre zonas.....	81
Figura 18	- Gráficos do escore visual (1 a 5) das características de integração radial das zonas, plumas ou canais, picos da zona 3 e cor de cada zona, realizados no período 1, nas camadas a (0 a 0,05 m), b (0,05 a 0,20 m) e c (0,20 a 0,40 m). Cc-citros em cultivo convencional; Cs-citros em cultivo agroflorestal; Co-citros em cultivo orgânico; F40-floresta com 40 anos de regeneração; F200-floresta com 200 anos de regeneração. Ao lado são apresentados em quadros os contrastes pelo teste F a 5%. Contrastes ortogonais pelo teste F a 5%; C1 = Florestas vs. Citros; C2 = Co + Cs vs. Cc; C3 = Cs vs. Co; e C4= F200 vs. F40.	91
Figura 19	- Gráficos do escore visual (1 a 5) das características de integração radial das zonas, plumas ou canais, picos da zona 3 e cor de cada zona, realizados no período 3, nas camadas a (0 a 0,05 m), b (0,05 a 0,20 m) e c (0,20 a 0,40 m). Cc-citros em cultivo convencional; Cs-citros em cultivo agroflorestal; Co-citros em cultivo orgânico; F40-floresta com 40 anos de regeneração; F200-floresta com 200 anos de regeneração. Ao lado são apresentados em quadros os contrastes pelo teste F a 5%. Contrastes ortogonais pelo teste F a 5%; C1 = Florestas vs. Citros; C2 = Co + Cs vs. Cc; C3 = Cs vs. Co; e C4= F200 vs. F40.	92
Figura 20	- Análise de componentes principais (ACP) dos sistemas Cc citros convencional, Co citros orgânico e Cs citros agroflorestal no período 1 com as seguintes variáveis: Ds- densidade do solo, Mip-microporosidade, EA-estabilidade de agregados, pH, COT-carbono orgânico total, FDA- enzima fluoresceína diacetato, Bait-atividade alimentar/lâmina bait, Rf1-Rf zona 1, Int-padrões cromatográficos de integração, Im-Índice de Margalef, Riq – riqueza e Oc - ocorrência.	98
Figura 21	- Análise de componentes principais (ACP) dos sistemas Cc citros convencional, Co citros orgânico e Cs citros agroflorestal no período 3 com as seguintes variáveis: Ds- densidade do solo, Mip-microporosidade, EA-estabilidade de agregados, pH, COT-carbono orgânico total, FDA- enzima fluoresceína diacetato, Lbait-atividade	

	alimentar/lâmina bait, Rf1-Rf zona 1, Int-padrões cromatográficos de integração , Im-Índice de Margalef, Riq – riqueza e Oc - ocorrência.....	99
Figura 22-	Análise de componentes principais (ACP) dos sistemas Cc citros convencional, Co citros orgânico, Cs citros agroflorestal, F40 floresta 40 anos e F200 floresta 200 anos, no período 1 com as seguintes variáveis: Ds-densidade do solo, Mip-microporosidade, EA-estabilidade de agregados, pH , COT-carbono orgânico total, FDA- enzima fluoresceína diacetato, Lbait-atividade alimentar/lâmina bait, Rf1-Rf zona 1, Int-padrões cromatográficos de integração.	101
Figura 23-	Análise de componentes principais (ACP) dos sistemas Cc citros convencional, Co citros orgânico, Cs citros agroflorestal, F40 floresta 40 anos e F200 floresta 200 anos, no período 3 com as seguintes variáveis: Ds-densidade do solo, Mip-microporosidade, EA-estabilidade de agregados, pH , COT-carbono orgânico total, FDA- enzima fluoresceína diacetato, Lbait-atividade alimentar/lâmina bait, Rf1-Rf zona 1, Int-padrões cromatográficos de integração.	102
Figura 24 -	Modelo do grafo misto (a) e bipartido (b) ambos com todas as possibilidades de interação entre os vértices, ambos comuns a todos os sistemas agrícolas no presente estudo com as propriedades do solo (S1 a S9) e as variáveis de cobertura (C1 a C3).	103
Figura 25-	Modelo do grafo bipartido com as possibilidades de interação entre os vértices (variáveis S_i e C_j) com as arestas (“a” a “f”). No grafo “a” as arestas são representadas sem peso (representação binária, $a = 0$ ou 1), no grafo “b” as arestas são representadas com pesos ou ponderações diferentes ($a \neq b, \dots \neq n$).	104
Figura 26 -	Foto do perfil caracterizado em campo.....	127

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Contrastes ortogonais usados na avaliação dos atributos analisados, considerando os diferentes sistemas de uso e manejo.	44
Tabela 2-	Características químicas das áreas de acordo com uso e cobertura da área, nos quatro períodos.	45
Tabela 3-	pH em quatro períodos das áreas de acordo com uso e cobertura da área.	46
Tabela 4-	Médias e desvios padrão da análise granulométrica do solo de acordo com o sistema de uso e manejo.	49
Tabela 5-	Variáveis físicas do solo (Médias e desvios padrão): Densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), microporosidade (Mip) e macroporosidade (Map) de acordo com o sistema de uso e manejo, em três camadas de profundidade.	52
Tabela 6-	Médias e desvios padrão da estabilidade de agregados para os períodos 1 e 3 de acordo com o sistema de uso e manejo.	53
Tabela 7-	Conteúdo de Diacetato de Fluoresceína nos solos, sob distintos sistemas de uso e manejo, médias e erros padrão dos quatro períodos.	57
Tabela 8-	Caracterização fitossociológica de plantas espontâneas identificadas no período 1 e 2.	65
Tabela 9-	Espécies de plantas espontâneas identificadas no levantamento fitossociológico e sua riqueza em cada área de citros, nas estações primavera/2014 e outono/2015.	66
Tabela 10-	Guia dos escores para análise e descrição visuais das características utilizados para CCP.....	82

Tabela 11- Cromatografia circular de Pfeiffer: fatores de retenção cromatográfico (Rf) e análise textural de imagem (entropia), realizados no período 1.....	86
Tabela 12- Cromatografia circular de Pfeiffer: espessuras das zonas na CCP realizados no período 1.	87
Tabela 13- Cromatografia circular de Pfeiffer: fatores de retenção cromatográfico (Rf) e da análise textural de imagem (entropia), realizados no período 3.	88
Tabela 14 - Cromatografia circular de Pfeiffer: espessuras das zonas na CCP realizados no período 3.	89
Tabela 15 - Correlação de Spearman entre os parâmetros avaliados visualmente e mensurados na CCP.	94
Tabela 16 - Correlação de Spearman entre os parâmetros da CCP e as variáveis químicas, físicas e biológicas do solo.....	95
Tabela 17 - Escores ou coeficientes de correlação das componentes 1 e 2 para variáveis analisadas. Nos períodos 1 e 3, para os sistemas Cc – citros convencional, Co – citros orgânico e Cs – citros agroflorestal.....	97
Tabela 18- Escores ou coeficientes de correlação das componentes 1 e 2 para variáveis analisadas. Nos períodos 1 e 3, para os sistemas Cc – citros convencional, Co – citros orgânico Cs – citros agroflorestal, F40 – floresta 40 anos e F200 floresta 200 anos.	100
Tabela 19 - Características químicas e granulométricas do perfil.	126

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE 1- FICHA PARA DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DO SOLO.....	125
APÊNDICE 2 - CROMATOGRAFIAS SENSÍVEL DE PFEIFFER, IMAGENS REPRESENTATIVAS DA ESTAÇÃO 1.	127
APÊNDICE 3 - CROMATOGRAFIAS SENSÍVEL DE PFEIFFER, IMAGENS REPRESENTATIVAS DO PERÍODO 3.....	129
APÊNDICE 4 - COMANDOS ESTATÍSTICOS UTILIZADOS NO SOFTWARE R .	131

Sumário

Sumário	19
1. INTRODUÇÃO	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 SISTEMAS DE CULTIVO ORGÂNICO, AGROFLORESTAL E CONVENCIONAL E SEU EFEITO NOS ATRIBUTOS DO SOLO.....	22
2.2 SISTEMAS DE CULTIVO DE CITROS NO RIO GRANDE DO SUL	24
2.3 FUNÇÕES ECOLÓGICAS DA VEGETAÇÃO HERBÁCEA EM CULTIVOS	25
2.4 CROMATOGRAFIA COMO MÉTODO SENSÍVEL DE ANÁLISE DO SOLO.....	26
2.5 TERIA DE GRAFOS E SEU USO EM AGROECOSSISTEMAS	27
3. HIPÓTESES	29
4. OBJETIVO GERAL	29
4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	30
CAPÍTULO I PROPRIEDADES DO SOLO E AS PLANTAS ESPONTÂNEAS EM CULTIVO DE CITROS COM MANEJOS BIODINÂMICO, AGROFLORESTAL E CONVENCIONAL.....	31
RESUMO	31
1. INTRODUÇÃO	31
2. MATERIAIS E MÉTODOS	32
2.1 ÁREA DE ESTUDO	33
2.2 HISTÓRICO DAS ÁREAS.....	34
2.3 PLANO DE AMOSTRAGEM	35
2.4 DETERMINAÇÕES EXPERIMENTAIS.....	37
2.4.1 Análises químicas.....	37
2.4.2 Análise granulométrica	37
2.4.3 Curva de retenção de água no solo.....	38
2.4.4 Densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, macro e microporosidade	38
2.4.5 Estabilidade de agregados.....	39
2.4.6 Enzima no solo: hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA)	41
2.4.7 Avaliação da atividade de organismos no solo – Lâmina Bait	41
2.4.8 Estrutura fitossociológica dos sistemas.....	42
2.4.9 Análise dos dados.....	43
3. RESULTADOS	44
3.1 PROPRIEDADES QUÍMICAS.....	44
3.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO.....	48
3.3 FLORÍSTICA HERBÁCEA	64
4. DISCUSSÃO.....	67
4.1 PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO.....	67
4.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO.....	69
4.3 PROPRIEDADES BIOLÓGICAS DO SOLO.....	70
4.4 VEGETAÇÃO HERBÁCEA EM CULTIVOS DE CITROS.....	71
5 CONCLUSÃO	73
CAPÍTULO II ANÁLISES INTEGRADAS EM AGROECOSSISTEMAS: CROMATOGRAFIA DE PFEIFFER E APROXIMAÇÃO À TEORIA DE GRAFOS	73

RESUMO.....	73
1. INTRODUÇÃO.....	74
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	76
2.1 ÁREA DE ESTUDO.....	77
2.2 HISTÓRICO DAS ÁREAS.....	77
2.3 PLANO DE AMOSTRAGEM.....	78
2.1. DETERMINAÇÕES EXPERIMENTAIS.....	79
2.2.1 Cromatografia sensível de Pfeiffer	79
2.2.2 Análise dos dados relacionados a Cromatografia Circular de Pfeiffer	83
2.2.3 Análise dos dados multivariada e Teoria de Grafos	84
3. RESULTADOS.....	85
3.1 DESCRIÇÃO DE PADRÕES DA CCP.....	85
3.2 CORRELAÇÃO ENTRE DADOS DERIVADOS DA CCP E PROPRIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS E BIOLÓGICAS DO SOLO.....	93
3.3 ANÁLISES DOS AGROECOSSISTEMAS PELAS COMPONENTES PRINCIPAIS.....	96
3.4 REDE DE GRAFOS E IDENTIFICAÇÃO DE PADRÕES.....	102
4. DISCUSSÃO.....	105
4.1 PADRÕES DA CCP.....	105
4.2 PADRÕES DERIVADOS DA CCP E RELAÇÃO COM AS PROPRIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS E BIOLÓGICAS DO SOLO.....	105
4.3 ANÁLISES DOS AGROECOSSISTEMAS PELAS COMPONENTES PRINCIPAIS.....	106
4.4 PROPRIEDADES E PARÂMETROS DOS GRAFOS.....	107
5. CONCLUSÃO.....	108
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	109
REFERÊNCIAS.....	111

1. INTRODUÇÃO

Compreender e respeitar as intrínsecas relações ecológicas dos seres existentes é necessário para que ocorra equilíbrio nos diferentes ambientes (ALTIERI, 2004). Entretanto, essa compreensão não ocorreu ao longo de décadas com o uso de técnicas como monoculturas, desmatamentos e queimadas.

Pesquisas para a melhoria de técnicas e manejo em sistemas de produção agrícolas são desenvolvidas buscando eficiência e diminuição da pressão produtiva nos ecossistemas naturais. A expectativa por demanda alimentar exerce pressão nas terras agricultáveis. Com isso a degradação emerge com intensidade, como erosão, salinização e desertificação induzida pela atividade humana, reduzindo, assim, o montante de terras agrícolas (GAO; LIU, 2010; GARCÍA-ORENES et al., 2012).

Práticas agrícolas e manejo de cultivos cada vez mais são reconhecidos como elementos chave na determinação de sucessos econômicos e sustentáveis numa propriedade (LANDAIS et al., 1988; MAZOYER; ROUDART, 2002; BRODT et al., 2006). Nesse contexto, duas importantes características nas práticas agrícolas são importantes: a complexidade na escala do sítio e a diversidade na escala regional (LANDAIS et al., 1988). Altieri (1999) e Scherr e McNeely (2008) propõem que sistemas naturais proporcionem ideias, técnicas e desenhos para sistemas agroecológicos, trazendo, assim, princípios ecológicos chaves, complementares à diversidade com espécies animais e vegetais, naturalmente presentes nos ecossistemas.

Obter tal compreensão torna-se um caminho para desenvolver sistemas agroecológicos exitosos. Experiências com essa observação surgem e tornam-se exemplos. No Brasil há boa densidade de relatos e experiências. No Rio Grande do Sul, a região do Vale do Caí, caracterizada pela economia em citricultura, com padrão de mão-de-obra familiar em pequenas a médias propriedades, possui distintas maneiras de cultivos de base ecológica: orgânico, produção integrada, agroflorestal, biodinâmico, natural, alternativo, permacultural e sistemas mistos. Com exceção do sistema convencional de produção, todos os demais sistemas de manejo buscam incrementar a diversidade biológica, bem como diversificar as atividades econômicas nas propriedades rurais, beneficiando o sistema solo-planta e aumentando a segurança econômica dos agricultores.

O monitoramento de propriedades do solo como forma de estudar agroecossistemas e a distinção de tipos de sistemas de manejo do solo contribuem para a compreensão dos processos envolvidos, afim de resultar em avanços na forma de manejar e obter técnicas mais eficientes.

É viável e necessário o desenvolvimento de melhorias de produção com base em sistemas ecológicos, bem como inclusão de unidades de produção familiares para a análise de fenômenos edáficos. Nesse sentido, estudos científicos que visam compreender as interações fitossociológicas e as propriedades dos solos em plantas submetidas a diferentes sistemas de cultivo (orgânico, agroflorestal ou convencional) e o desenvolvimento de metodologias capazes de caracterizar essas relações de uma forma não simplificada dos fenômenos, são desafios da pesquisa (NAIR, 1998) na busca de parametrizar o desenho de sistemas de produção.

Assim, a utilização de técnicas sensíveis como a Cromatografia de Pfeiffer é importante, pois permite inferir diversas características do solo, de ordem física, química e microbiológica. Além disso, relacionar a cobertura vegetal com as propriedades do solo por meio de modelos que permitam interpretação mais concisa, como a Teoria de Grafos, surge como uma ferramenta nesse processo, utilizada em diversas áreas das ciências, proporcionando inovações nessa linha de estudo.

Diante das ideias apresentadas, foi proposta a presente pesquisa, com base na relação da cobertura vegetal e a qualidade do solo, em áreas de cultivo de citros em sistemas orgânicos, agroflorestas e convencionais, utilizando técnicas específicas para análise de solo em sistemas agroecológicos, como é o caso da cromatografia sensível de Pfeiffer, e a teoria de grafos, uma área da matemática, que permitem compreender a complexidade existente entre a vegetação e o solo adjacente. O trabalho está dividido em quatro partes: dois capítulos iniciais que tratam dos parâmetros de qualidade do solo em pomares de citros manejados de distintas formas e duas partes finais que envolvem a relação entre a cobertura vegetal herbácea e a qualidade do solo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMAS DE CULTIVO DOS CITROS E SEU EFEITO NOS ATRIBUTOS DO SOLO

O manejo da vegetação afeta as características físicas, químicas e biológicas do solo. Entretanto, são o tipo, a forma e o momento do manejo empregado que proporcionam respostas positivas ou negativas nesses atributos (DURIGAN; TIMOSSI, 2002). O manejo do solo é uma das práticas mais importantes em pomares orgânicos, devendo o solo ser mantido permanentemente com cobertura viva ou morta, utilizando-se adubos verdes e/ou compostagem.

Os fatores que determinam a qualidade do solo são aqueles que têm influência no crescimento das plantas, tais como agregação, retenção de água, teores de nutrientes, presença

de patógenos e população microbiana (BORGES et al., 2003). Solos sob sistemas orgânicos contêm grande número e diversidade de organismos, formando um complexo de comunidades. Esses organismos desenvolvem um papel essencial na sustentabilidade funcional do ecossistema em que estão inseridos, incluindo a ciclagem de nutrientes, a regulação da matéria orgânica do solo, o sequestro de carbono e a modificação da estrutura física do solo e de regimes hídricos, aprimorando a eficiência de absorção de nutrientes pelas plantas e supressão de organismos patogênicos (COLEMAN et al., 1978).

Os sistemas de cultivo convencional têm sido associados com perdas de fertilidade do solo, erosão e poluição da água (DRINKWATER et al., 1995), além de algumas práticas agrícolas inibirem a atividade da microbiota do solo. A aplicação de inseticidas promove mudanças na biodiversidade, inibindo ou matando componentes da microbiota do solo, sendo que fungicidas causam significativas mudanças para as comunidades de fungos e bactérias do solo. Estudos de longa duração tornam evidentes tais fenômenos, em que a microbiota do solo é a mais afetada (CRECCHIO et al., 2004; LIU et al., 2007).

A utilização da cobertura vegetal no solo de forma continuada, comum em sistemas orgânicos e agroflorestais, reflete principalmente no acúmulo de matéria orgânica. A matéria orgânica do solo melhora as condições físicas, como densidade, porosidade e estabilidade de agregados (CAMPOS et al., 1995; BAYER; MIELNICZUK, 1997; ARVIDSSON, 1998); as condições químicas, como capacidade de troca de cátions, disponibilidade de macro e micronutrientes e aumento da fertilidade; e as condições biológicas, como aumento da biomassa microbiana do solo e fixação de nitrogênio (CALEGARI et al., 1993).

Os sistemas agroflorestais oferecem um modelo de agricultura que mimetizam as florestas, possuem similaridade em estrutura e diversidade a alguns ecossistemas naturais (SILVA et al., 2011), e visam melhorar a capacidade produtiva dos solos em ambientes tropicais.

Um efeito consolidado é a infiltração, dinâmica e conservação da água em sistemas agroflorestais. Por sua constituição, possuem sistemas radiculares diversos que propiciam um contínuo aporte de matéria orgânica e condicionam favoravelmente o meio físico do solo, melhorando as condições de infiltração e retenção de água (FAO, 1995; BREMAM; KESSLER, 1997). A presença das árvores resulta, também, em redução da exposição do solo à radiação solar, intensificação da ciclagem de nutrientes, abscisão de folhas e galhos, proteção do solo contra erosão e maior volume de raízes, que reduzem a volatilização e lixiviação do nitrogênio, contribuindo, assim, para melhorar a fertilidade do solo (MUÑOZ; ALVARADO, 1997). Funciona, também, como um estoque de carbono no solo e na vegetação, removendo

quantidades significativas de CO₂ da atmosfera (ANDRADE; IBRAHIM, 2003) e serve como refúgio para a biodiversidade animal (GORMLEY; SINCLAIR, 2003).

Os sistemas agroflorestais (SAF's) constituem uma alternativa de produção agrícola que diminuem o efeito antrópico, cujas características se aproximam daquelas do ambiente natural pela presença de diferentes espécies dentro de uma área e aumento da diversidade do ecossistema. Com isso, otimizam-se as interações benéficas entre as plantas de diferentes ciclos, portes e funções (SANCHEZ, 1995; YOUNG, 1997). Os SAF's têm sido considerados como sistemas de manejo que buscam conservar as condições do solo as mais próximas das condições naturais, havendo um melhor aproveitamento dos componentes do agroecossistema no tempo e no espaço (NAIR, 1993).

2.2 SISTEMAS DE CULTIVO DE CITROS NO RIO GRANDE DO SUL

Segundo dados da FAO (2013), em 2011, o Brasil possuía uma área cultivada de citros de aproximadamente 53 mil hectares e uma produção de 1,1 milhão de toneladas, sendo o terceiro maior produtor, atrás apenas da China e da Espanha com produções de 12,7 e 1,5 milhões de toneladas, respectivamente. No Brasil, o censo do IBGE 2012 mostra que o estado de São Paulo ocupa a primeira posição na produção de citros, seguido por Paraná, Rio Grande do Sul e Minas Gerais, que juntos são responsáveis por 88% da produção brasileira de bergamotas.

O Rio Grande do Sul apresenta condições edafoclimáticas favoráveis à produção de frutas cítricas de mesa (KOLLER, 1994), tendo uma produção anual estimada de 524,7 mil toneladas, em uma área de 42,2 mil ha e uma produtividade média de 12 t ha⁻¹ de citros (IBGE, CENSO 2012). Mesmo sendo pequena, quando comparada à do estado de São Paulo, a produção é maior que a de muitos países e representa a principal atividade econômica em dezenas de municípios (OLIVEIRA et al., 2010).

No Rio Grande do Sul, os citros são cultivados sob diversos sistemas de produção, como orgânico, convencional, produção integrada, agroflorestal, biodinâmico, natural, alternativo, permacultural e sistemas mistos. O mais usual é o sistema convencional, o qual não possui regras definidas ou legislação específica (GRUPEX, 2005). Uma das diferenças fundamentais do sistema orgânico em relação ao convencional é a promoção da agrobiodiversidade e da manutenção dos ciclos biológicos na unidade produtiva, buscando a sustentabilidade econômica, social e ambiental da unidade, no tempo e no espaço. Nesse contexto, a flora

presente assume grande importância quando as espécies da comunidade atuam como protetoras do solo, como hospedeiras alternativas de inimigos naturais, mobilizadoras ou cicladoras de nutrientes e competidoras de água (PEREIRA; MELO, 2008).

As frutas cítricas no Brasil são destinadas preponderantemente ao consumo de mesa, sendo sua produção realizada em pequenas áreas (dois a três hectares) e de exploração familiar, exercendo importante papel na geração de empregos e na fixação do homem no campo (BONINE; JOÃO, 2002). E com a necessidade de se buscar sistemas alternativos de produção para citricultura brasileira e é nesse contexto que cada vez mais citricultores estão migrando para sistemas de base ecológica de produção.

2.3 FUNÇÕES ECOLÓGICAS DOS EXTRATOS HERBÁCEOS EM SISTEMAS DE CULTIVO

O conhecimento da estrutura e composição dos estratos inferiores ou herbáceos pode fornecer dados sobre as condições ambientais e o estado de conservação do meio (RICHARDS, 1952). As espécies do sub-bosque são sensíveis às mudanças climáticas e edáficas, às características do estrato arbóreo e aos distúrbios antrópicos (GIVNISH, 1986). Assim um levantamento e análise pode aprimorar o manejo de cultivos na tomada de decisões e benefícios que esse estrato favorece.

Pesquisas sobre riqueza e diversidade de herbáceas nas florestas do Brasil estão disponíveis em trabalhos de florística e fitossociologia como os de Dorneles e Negrelle (1999), Müller e Waechter (2001), Costa (2004), Pereira et al. (2004), Palma et al. (2008) e Moraes et al. (2009), realizados, em sua maioria, em sítios de florestas subtropicais.

A riqueza e a diversidade da cobertura herbácea são influenciadas principalmente por fatores ambientais como topografia, disponibilidade de água, quantidade de nutrientes no solo e situações climáticas, esta última diretamente relacionada à cobertura do dossel e à disponibilidade de luz, além dos fatores bióticos como, por exemplo, competição entre as espécies (GENTRY; EMMONS, 1987; LEE, 1989; POULSEN, 1996; SMALL; MCCARTHY, 2002; COSTA et al. 2005, 2006). Com esses fatores de ocorrência, Primavesi (2017) afirma que essas características permitem a identificação dessas plantas como indicadoras das condições do solo, seja em conservação ou desequilíbrio e degradação de um determinado tipo de solo.

Os extratos herbáceos são predominantemente as plantas nativas espontâneas, ditas também plantas invasoras. Essas aumentam a biodiversidade (SCHERER; DEIL, 1997).

Constatou-se que na agricultura convencional as espécies herbáceas são reduzidas em geral a metade das que existiam nos campos de agricultores agroecológicos (BENZING, 2001). Como consequência, nos campos manejados agroecologicamente, eleva-se o número de microorganismos e da fauna do solo, e assim seus benefícios a fertilidade dos solos (PRIMAVESI, 2017). Monoculturas favorecem o desenvolvimento de poucas espécies herbáceas, resultado do manejo do solo (aração, insumos, agrotóxicos, etc).

Outro fenômeno que ocorre quando uma única espécie de planta herbácea aumenta sua incidência numa cultura, é a intensificação da ocorrência de pragas e doenças. Se há grande diversidade de plantas, essas auxiliam a manter a diversidade e equilíbrio dos organismos do solo, assim a possibilidade da cultura ser parasitada é menor (MÜLLER-SÄMANN, 1986; THOMAS; SCHROEDER; KENNEY; MURRAY, 1997).

2.4 CROMATOGRAFIA COMO MÉTODO SENSÍVEL DE ANÁLISE DO SOLO

O botânico russo Mijaíl Tswett (1872-1919) foi o primeiro a empregar a terminologia “cromatografia”, que provém do grego *chroma*, cor e *graphos*, escrever. Aqui, apresentamos a Cromatografia de Pfeiffer, método desenvolvido por Pfeiffer (1984).

No ano de 1924, Rudolf Steiner preocupado pela alta perda de vitalidade dos solos e da agricultura pelo uso de agroquímicos, fundou a antroposofia e, conseguinte, a agricultura biodinâmica como um padrão de agricultura de base ecológica. No desenvolvimento de tal agricultura, E. Pfeiffer, juntamente com R. Steiner, Eugen Kolisko e Lily Kolisko, foi o responsável por desenvolver um método sensível capaz de analisar a qualidade dos solos, o qual foi baseado na atração e ascensão capilar, capaz de analisar seiva e frutas, chamado de Dinamolisis Capilar (KOLISKO; KOLISKO, 1939; RIVERA; PINHEIRO, 2011). Pfeifer investigou relações entre a química, a fertilidade e a vitalidade do solo, aprofundando, posteriormente, estudos em microbiologia e bioquímica, e identificando a intensidade da vida através do catabolismo e anabolismo.

Esse método, denominado de Cromatografia de Pfeiffer, foi idealizado para analisar e distinguir a qualidade dos solos, principalmente em sistemas de agricultura biodinâmicos (PFEIFFER, 1984), mas permite também avaliar minerais por sua solubilidade e grau de oxidação (RIVERA; PINHEIRO, 2011). A técnica de Cromatografia de Pfeiffer também tem sido empregada para distinguir agroecossistemas (GRANSTEDT; KJELLENBERG, 2011) e adubos e biofertilizantes (LÜBKE, 2008; FOLLADOR, 2011) no meio agrícola, principalmente em sistemas de base ecológica em função de sua sensibilidade. A análise integra propriedades

físicas, químicas e biológicas, aumentando, assim, o nível de informação das propriedades do solo e resultando na qualidade do mesmo (PFEIFFER, 1984).

O método proporciona maior entendimento ao manejo de solo e uma forma distinta de analisar os solos e sua cobertura com mais sensibilidade e distinção, suficiente para uma rápida interpretação. Atualmente, pelos esforços de Rivera e Pinheiro (2011), o método ganhou popularidade e auxilia principalmente agricultores familiares e camponeses que trabalham com agricultura orgânica e agroecologia.

2.5 TERIA DE GRAFOS E SEU USO EM AGROECOSSISTEMAS

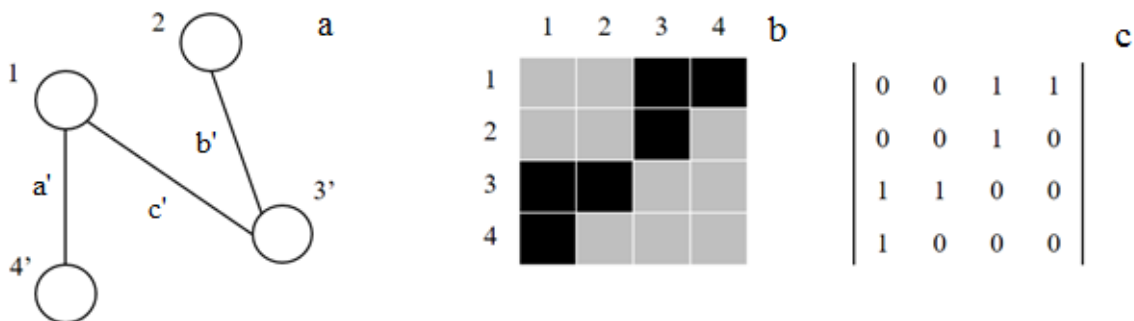
Neste trabalho procuramos fazer uma abordagem sobre os conceitos de grafos e suas possibilidades de uso em agroecossistemas. Um grafo é um objeto matemático ou estrutura matemática formado por dois conjuntos: um conjunto de vértices (V) e um conjunto de arestas, esse último que apresenta relações entre os vértices. Os elementos de V e as arestas podem ser de naturezas diversas (WASSERMAN; FAUST, 1994), sendo possível que haja mais de uma ligação entre dois vértices, denotando-se o número “ p ” de ligações possíveis entre os vértices por p -grafo (BOAVENTURA; JURKIEWICZ, 2009).

Ao contrário de muitos ramos da matemática, desenvolvidos de especulações puramente teóricas, a teoria dos grafos tem sua origem no confronto de problemas práticos. A teoria dos grafos estuda objetos combinatórios (PEREIRA; CAMARA, 2008). A Rede de grafos é teoricamente representada como um grafo conexo, dirigido e ponderado (Figura 1). O gráfico está ligado porque é uma coleção de nós e ligações de arestas (ou também chamado de tubos) que conectam pares de nós; é dirigido, significando que existe uma distinção entre os dois nós associados a cada tubo, o qual é dirigido a partir de um nó de término; e cada tubo é ponderado por seus parâmetros correspondentes (GOLDBARG; LUNA, 2005).

Nesse sentido, a quantificação da complexidade que os grafos podem predizer é significativa, trazem uma importância prática em muitos campos científicos (COOK; HOLDER, 2006; BRANDES; ERLEBACH, 2005). O uso e aplicação é significativo em sistemas ecológicos complexos como: interação multi-espécies em ambiente natural, cadeia alimentar, relação planta-polinizador, sistemas pesqueiros, isso proporcionou contribuições científicas importantes pois agregam princípios ecológicos a um nível mais alto (WOODWARD; BOHAN, 2013). Esse debate e aplicação tem sido recentemente proposto em situações agrícolas, no caso proposto estão os agroecossistemas, com sua diversidade intrínseca, heterogeneidade e estrutura de campo que resulta em integrações complexas de variáveis.

A conectividade estrutural da paisagem pode ser avaliada através de algoritmos de grafos espaciais (QUEDA et al, 2007; DALE; FORTIN, 2010), considerando a estrutura, a configuração de características do agroecossistema (nós) e as distâncias euclidianas entre eles (arestas). É importante criar um grafo espacial funcional que leve em consideração tanto a estrutura quanto a qualidade da paisagem intermediária. Em tais gráficos espaciais funcionais, as arestas são ponderadas de acordo com a qualidade da matriz de menor custo ou resistência de redes (RAYFIELD et al, 2011) e também pode ter direcionalidade (TREML et al, 2008; DALE; FORTIN, 2010).

Figura 1 - Modelo de uma estrutura de um grafo bipartido para interação de um conjunto diversidade planta-animal (a). O modelo representa dados binários, em b os quadrados pretos representam quando há interação planta/animal. C é a matriz de dados, simétrica. Os vértices são representados por números e as arestas por letra.



Fonte: Autor.

A extensão e o modo de resposta dos sistemas ecológicos a mudanças ambientais têm sido pesquisados (PARMESAN; YOHE, 2003; HARLEY et al, 2006; POST et al, 2009). Os padrões de resposta são frequentemente analisados por definição de vários estados ecológicos diferentes (por exemplo, savana vs florest

a) dentro de um sistema, sendo estudados como esses estados individuais se comportam em conjunto com as variações ambientais (JØRGENSEN; BENDORICCHIO, 2001). No entanto, pesquisas recentes sugerem que, independentemente da dinâmica interna dos estados, a rede estrutural entre os estados também pode determinar o sistema global, comportamento e heterogeneidade (RESTREPO et al., 2007), bem como nível de transição de uma comunidade.

Para quantificar a distribuição espacial das espécies e relacioná-la com a heterogeneidade ambiental, uma série de técnicas estatísticas e matemáticas são necessárias. Assim surgem demandas para quantificar a importância relativa das pressões naturais e antrópicas, com adequadas escalas espaciais e temporais (CRESSIE, 1993; HAINING, 2003; FORTIN; DALE, 2005) e análises espaço-temporais (CRESSIE e WIKLE de 2011). Com isso os grafos espaciais resultantes proporcionam avaliações mais significativas da conectividade da paisagem, dada a singularidade das conexões de medida nos grafos usados para analisá-los (RAYFIELD et al, 2011; LAITA et al, 2011).

3. HIPÓTESES

- Indicadores sistêmicos da cobertura e do solo demonstram a eficiência no manejo entre sistema agroecológico e convencional.
- A integração dos elementos que compõem o agroecossistema repercute a biodiversidade e processos edáficos, que por sua vez mais integrados, refletem um sistema mais resiliente e passível de maior capacidade para o sistema de produção.

4. OBJETIVO GERAL

Integrar as propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo e a florística da cobertura vegetal herbácea como indicador de qualidade edáfica, na comparação entre sistemas orgânicos (biodinâmicos), agroflorestais (biodinâmicos) e convencionais de cultivo de citros.

4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Buscar nos diferentes ambientes (citros orgânico, agroflorestal, convencional e florestal de referência):

- Estudar atributos físicos, químicos e biológicos do solo que distinguem tais ambientes, por meio de uma seleção de variáveis que represente cada área dentro da ciência do solo;
- Aplicar e desenvolver o método de cromatografia de Pfeiffer, como um método sensível e sistêmico a sistemas agroecológicos;
- Estabelecer relação entre os componentes vegetais de cada agroecossistema e os atributos edáficos analisados, permitindo integrar a qualidade edáfica dos agroecossistemas em função de cobertura vegetal e práticas agrícolas.

CAPÍTULO I PROPRIEDADES DO SOLO E AS PLANTAS ESPONTÂNEAS EM CULTIVO DE CITROS COM MANEJOS BIODINÂMICO, AGROFLORESTAL E CONVENCIONAL

RESUMO

O cultivo de citros evoluiu em seu manejo para melhoria da qualidade dos pomares e da produção. Essa qualidade adquirida, provém, em grande parte de práticas e formas de manejo agroecológicas. A fim de dar suporte a agroecossistemas que avançam nesse sentido, foi desenvolvido o presente estudo que permite analisar distintos sistemas de manejo, com o objetivo de avaliar a qualidade das propriedades físicas, químicas, biológicas do solo e a vegetação herbácea espontânea ocorrente em pomares de citros sob distintos manejos e períodos do ano. O trabalho foi conduzido numa área que envolve três propriedades agrícolas no município de Montenegro, região do Vale do Caí/RS, em cinco áreas de estudo: citros em sistema convencional (Cc), citros sistema orgânico/biodinâmico (Co), citros sistema agroflorestal/biodinâmico (Cs) e duas áreas florestais, uma com 40 (F40) e outra com 200 anos (F200). As propriedades químicas, físicas e biológicas do solo foram avaliadas em três camadas (0-5, 5-20 e 20-40 cm), em quatro períodos, enquanto o levantamento herbáceo foi realizado em dois desses períodos. Os pomares Co e Cs apresentaram melhores indicadores nos parâmetros químicos (pH, fósforo, CTC, carbono orgânico do solo), físicos (densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade) e biológicos (atividade enzimática global) do que aqueles sob sistema que manejo convencional. O manejo agroflorestal foi ainda superior em benefícios, com melhores níveis de pH, microporosidade e melhor comportamento alimentar da fauna do solo. As variações temporais mais evidentes foram para o pH, COS em superfície, enzima FDA e atividade alimentar da fauna do solo. Os pomares biodinâmicos Cs e Co apresentaram maior riqueza e abundância de espécies herbáceas.

Palavra – chave: qualidade do solo, vegetação herbácea, sistema de manejo, sazonalidade.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças no uso do solo e o conjunto de práticas de manejo influenciam nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (YIFRU; TAYE, 2011). O sistema de uso em seu conjunto de práticas e manejo aplicado ao solo é um fator importante que controla os níveis de qualidade e influi nos processos de aporte e qualidade da cobertura do solo e nas taxas

de decomposição e estabilização da matéria orgânica (RÖMKENS et al., 1999; SIX et al., 2002).

As pesquisas têm sido conduzidas na comparação de sistemas de manejo orgânicos e convencionais (MARRIOTT; WANDER, 2006; GÓMEZ et al., 2009; CERDÀ et al., 2016; KEESSTRA et al., 2016a, 2016b; PROSDOCIMI et al., 2016). Dentre sistemas agroecológicos, os sistemas agroflorestais apresentam-se promissores, com experiências de sucesso (TOMICH et al., 2011), tanto na América Latina (DECLERCK et al., 2010; HARVEY et al., 2008) quanto na África (GARRITY et al., 2010).

Em pomares de citros, existe uma mudança, em nível global, de sistemas de cultivo como estratégias para melhoria na qualidade dos pomares. No Rio Grande do Sul, os citros são cultivados sob diversos sistemas de produção, como orgânico, convencional, produção integrada, agroflorestal, biodinâmico, natural, alternativo, permacultural e sistemas mistos. O mais usual é o sistema convencional, o qual não possui regras definidas ou legislação específica (GRUPEX, 2005). Os sistemas agroecológicos, contudo, são os mais recomendados pela ausência de uso de agrotóxicos, baixo consumo de energia e de fertilizantes (MÄDER et al., 2002), pela melhoria dos parâmetros biológicos do sistema (VAN LEEUWEN et al., 2015), pelo efeito na matéria orgânica do solo (MOS), importante indicador da qualidade do solo que se correlaciona com o aumento da agregação do solo (MARRIOTT; WANDER, 2006).

Em sistemas de cultivo orgânicos, o manejo do solo é uma das práticas mais importantes, devendo o solo ser mantido permanentemente com cobertura viva ou morta (*mulching*), utilizando-se adubos verdes e/ou compostagem (BORGES et al., 2003). Em relação a fertilização, experimentos de campo de longa duração mostram muitos benefícios com adubação orgânica na fertilidade do solo (RAUPP et al., 2006; RAUPP; OLTMANN, 2008).

Diante da possibilidade de contribuição para entendimento da fertilidade do solo e da vegetação herbácea em diferentes sistemas, neste capítulo é analisado o efeito de um manejo de longa duração em cultivo de citros manejados nos sistemas convencionais, orgânicos (biodinâmico) e agroflorestais (biodinâmico) nas propriedades do solo em pomares na região do Vale do Caí/RS.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi conduzido no município de Montenegro, região fisiográfica da Depressão Central, RS (29°41'20''S e 51°27'39''W). De acordo com a classificação de Köppen (1948), o clima da região é Cfa – subtropical úmido de verão quente. Os meses mais quentes são janeiro e fevereiro, com temperatura média próxima de 25 °C e os meses mais frios são junho e julho, com temperatura média de 9 °C. A precipitação média anual é de 1.440 mm (BERGAMASCHI; GUADAGNIN, 1990, BERGAMASCHI et al., 2003).

O solo da região foi classificado como ARGISSOLO Vermelho-Amarelo Distrófico arênico (PVAd) (EMBRAPA, 2006; STRECK et al., 2008), pertencente à unidade de mapeamento Bom Retiro (BRASIL, 1973). É um solo oriundo de arenito (Formação Botucatu), ocupando um relevo ondulado a forte ondulado, com vegetação original da região composta predominantemente por Mata Atlântica e Pampa (PIETRZACKA, 2009). Foi realizado, também uma classificação de solo na área de estudo, de acordo com o tipo de solo recorrente na localidade, com mais detalhes no Apêndice A.

Localizado em três propriedades rurais distintas, o experimento foi conduzido em cinco áreas descritas como: (1) citros em sistema convencional (Cc; 1,12 ha); (2) citros orgânico em sistema de agricultura biodinâmica (Co; 1,17 ha); (3) citros em sistema agroflorestal biodinâmico (Cs; 1,16 ha); floresta nativa (Mata Atlântica) com aproximadamente 40 anos de regeneração (F40; 0,37 ha); (5) floresta nativa com aproximadamente 200 anos de regeneração (F200; 2,1 ha), (Figura 2).

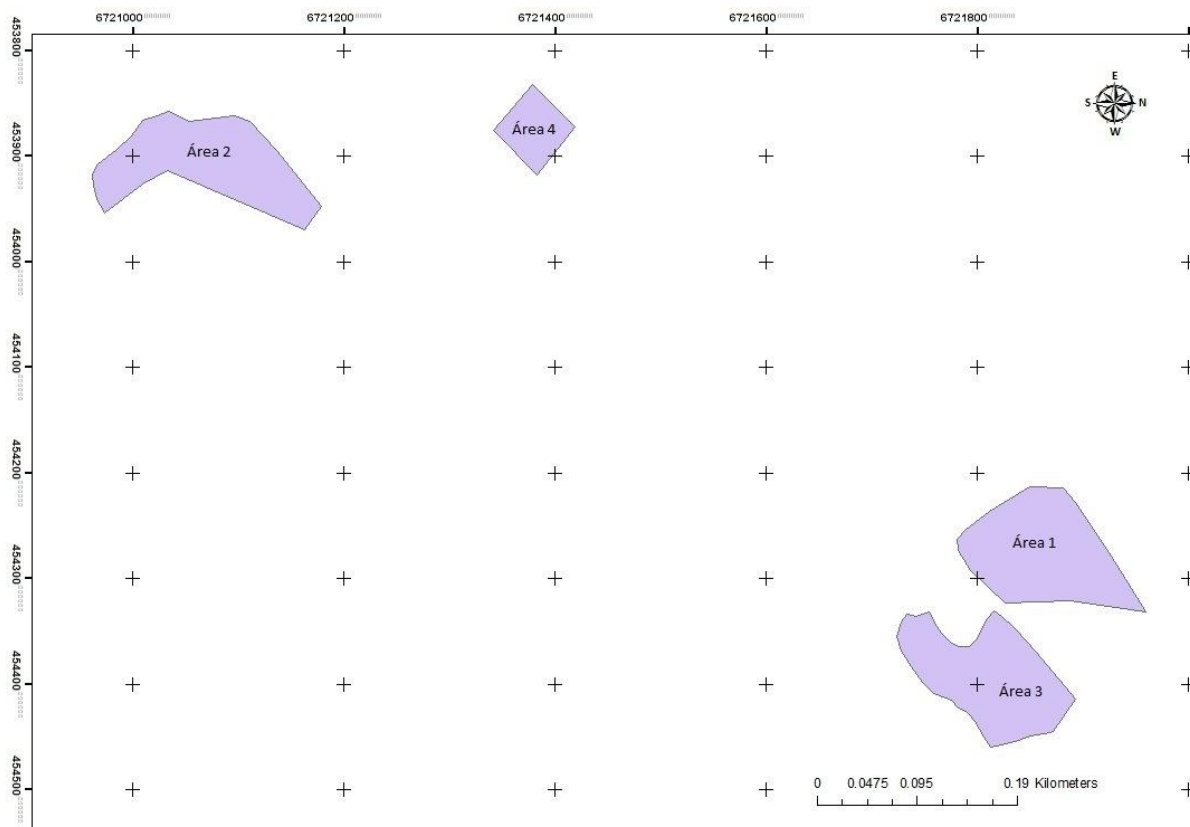
Definições baseadas na pesquisa:

- Agricultura biodinâmica é um método de agricultura que se desenvolve com os princípios elaborados por Steiner (2010) no ano de 1924, propõe uma abordagem sistêmica, a propriedade é entendida como um organismo, os recursos naturais da agricultura são trabalhados em conexão e ritmo com as forças cósmicas da natureza, e se obtém uma aproximação mais compreensível das relações homem vs. agricultura. Igual às distintas correntes de agricultura ecológica, a agricultura biodinâmica não utiliza agroquímicos sintéticos (fertilizantes, agrotóxicos, hormônios e etc.), no entanto, algumas práticas específicas vão além e têm por objetivo desenvolver e harmonizar esse organismo, como: os preparados biodinâmicos que utilizam plantas medicinais nos adubos, e a observação e uso de ritmos astronômicos nos cultivos.
- Agricultura orgânica designa termos e propostas alternativas para desenvolver uma produção, fundada em 1972 pela IFOAM (International Federation of Organic

Agriculture movements), no Brasil há uma Instrução normativa editada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento (MAPA) que dispõe sobre normas para a produção de produtos orgânicos vegetais e animais. Tais normas, além de proibirem os agrotóxicos, restringem a utilização de adubos químicos e incluem ações de conservação dos recursos naturais.

- Sistemas agroflorestais (SAF) são definidos por uma combinação da agricultura com a floresta com aproximação a um ecossistema regional para alcançar capacidade produtiva, segurança alimentar, uso sustentável do solo, serviços ecossistêmicos e resiliência nos agroecossistemas (KOHLI et al., 2008; NAIR; GARRITY, 2012).

Figura 2 - Localização das glebas de pesquisa, área 1: citros convencional (Cc); área 2: citros biodinâmico (Co); área 3: citros agroflorestal (Cs); área 4: floresta regeneração 40 anos (Mata Atlântica) (F40). Na figura não aparece a localização da área F200, que corresponde à quinta área da pesquisa.



Fonte: Autor.

2.2 HISTÓRICO DAS ÁREAS

O sistema orgânico (Co) foi iniciado no ano de 1998 com plantio de bergamotas variedade Montenegrina. Nesse ano o agricultor começou a manejar as lavouras em sistema orgânico, sendo os principais manejos as aplicações de compostagem (laudo presente no Anexo 1) provenientes da Ecocitros (Cooperativa dos Citricultores do Vale do Caí) e a manutenção e manejo das plantas espontâneas pelo método de roçadas nas entrelinhas e na projeção da copa das plantas. A conversão do sistema orgânico para o biodinâmico foi realizada no ano de 2009.

O sistema de cultivo agroflorestal (Cs), inicialmente com manejo igual ao da área anterior por pertencer ao mesmo sítio, no entanto no ano de 1999 o inclusão de espécies florestais começou a ser desenvolvido em 1999. Foram incluídas espécies nativas florestais e algumas exóticas, identificadas com o auxílio do agricultor e da engenheira florestal Cristina Redin: Açoita-Cavalo (*Luehea grandiflora* Mart. & Zucc), Acácia Negra (*Acacia mearnsi* De Wild), Angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan), Araucária (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze), Butiá (*Butia eriospatha* (Mart. Ex Drude) Becc.), Cabreúva (*Myroxylon peruiferum* L. f.), Canafístula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.), Canela (*Cinnamomum zeylanicum* Blume), Canjerana (*Cabralea canjerana* (Vell.) Mart.), Cedro rosa (*Cedrela odorata* L.), Cinamomo (*Melia azedarach* L.), Ipê roxo (*Handroanthus impetiginosus* Mart. ex DC.), Jacarandá-mimoso (*Jacaranda mimosifolia*, D. Don), Jerivá (*Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Glassman), Louro-pardo (*Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud.), Mamica de cadela (*Zanthoxylum rhoifolium* Lam.) e Timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong.). Essas árvores foram plantadas na linha das bergamoteiras em espaçamento médio de 15 m, pois não seguem um padrão de distâncias entre árvores, obedecendo a sua estrutura de dossel.

O sistema de cultivo convencional (Cc) foi instalado há aproximadamente 25 anos (1990), com preparo convencional do solo, com utilização de arado e grade para mobilização do solo para o plantio manual de mudas de bergamoteiras (*Citrus deliciosa* Tenore), da variedade Montenegrina, Okitsu, Morgote e Caí, enxertadas sobre *Poncirus trifoliata* L.. As plantas foram alocadas num espaçamento de 3 m entre plantas na linha e 6,5 m nas entrelinhas. Com uso intensivo de fertilizantes minerais, herbicidas em área total duas vezes ao ano, na primavera e no verão, e agrotóxicos.

2.3 PLANO DE AMOSTRAGEM

As amostras de solo foram coletadas ao longo de quatro períodos: período 1 (primavera de 2014), período 2 (verão de 2015), período 3 (inverno/primavera de 2015), período 4

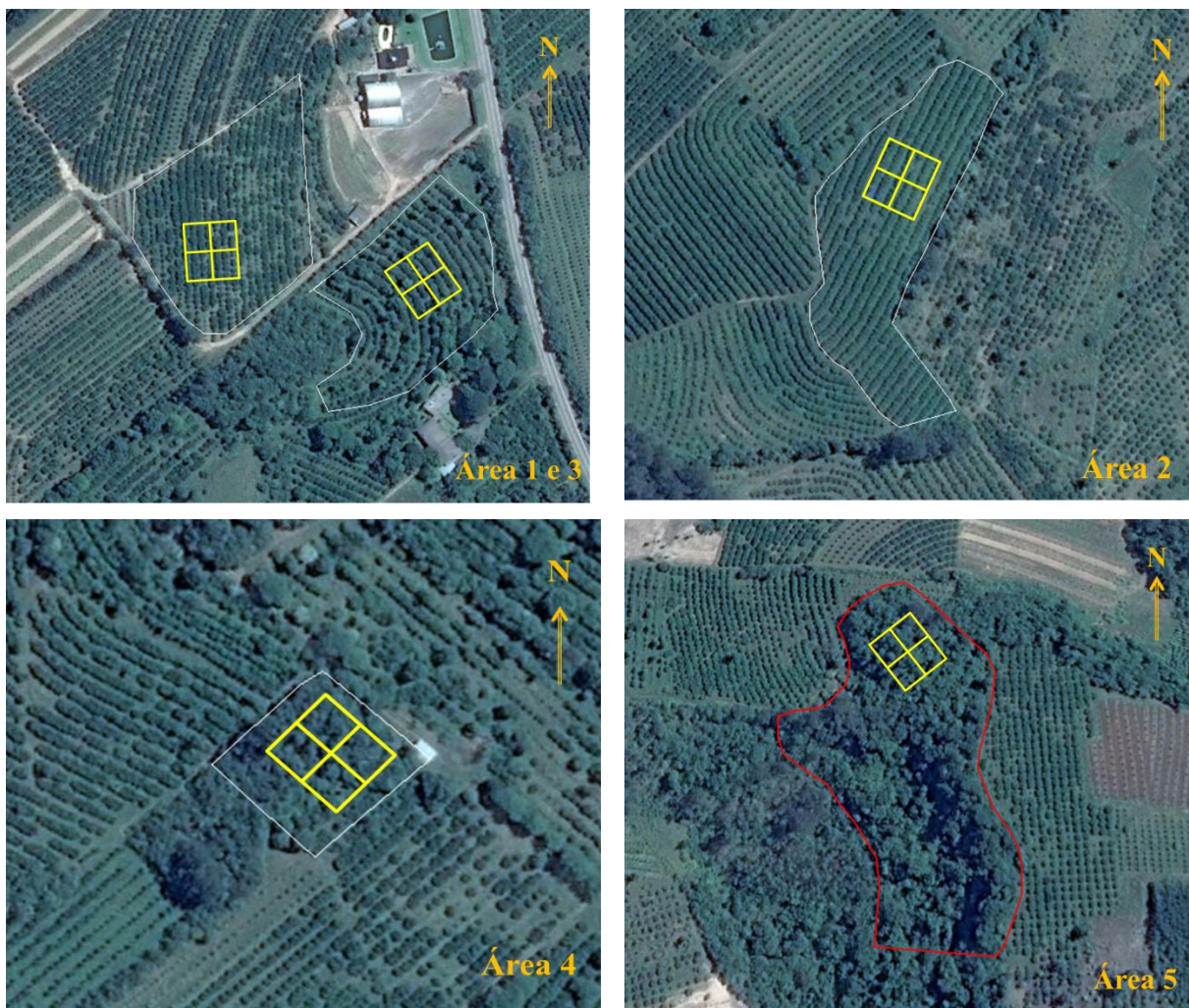
(primavera/verão de 2015, nas cinco áreas experimentais: citros convencional (Cc), citros biodinâmico (Co), citros agroflorestal (Cs), floresta regeneração 40 anos (F40) e floresta regeneração 200 anos (F200).

O objetivo inicial da pesquisa foi realizar as coletas estrategicamente no período de outono, inverno, primavera e verão, para compreensão da dinâmica dos sistemas ao longo de um ano; no entanto, ao longo do período amostral houve momentos que impediram o desenvolvimento sequencial da pesquisa, não sendo possível realizar as amostragens nos momentos exatos.

Para cada área do experimento foi realizado um levantamento por amostragem sistemática em um grid de espaçamento regular de 3600 m² (30 x 34 m). Os pontos foram os vértices do grid, como mostra a figura 3 (15 m entre ponto e 17 m entre linha no grid), totalizando 9 pontos georeferenciados em cinco áreas (totalizando 45 pontos amostrais).

Nos respectivos pontos do grid foram coletadas amostras compostas de solo nas camadas 0-0,05; 0,05-0,20; e 0,20-0,40 m, totalizando 135 amostras por período (Figura 3).

Figura 3 - Espacialização do grid amostral em cada parcela (30 x 34m). Área 1: citros convencional (Cc), área 2: citros biodinâmico (Co), área 3: citros agroflorestal biodinâmico (Cs), área 4: floresta 40 anos regeneração (F40) e área 5: floresta 200 anos de regeneração (F200).



Fonte: Google Earth.

2.4 DETERMINAÇÕES EXPERIMENTAIS

2.4.1 Análises químicas

As análises químicas realizadas foram: pH em água (relação 1:2,5), P e K disponível (Mehlich 1), Ca, Mg e Al trocáveis (extração por KCl) segundo metodologia proposta por Tedesco et al. (1995), H+Al por meio da relação matemática com TSM-tampão Santa Maria, de acordo com Toledo et al. (2012) e carbono orgânico total (COT) por digestão úmida com a mistura de dicromato de potássio e ácido sulfúrico sob aquecimento externo, de acordo com Mebius (1960).

2.4.2 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997), baseado no princípio da velocidade de queda das partículas, conforme a lei de Stokes. A

dispersão foi realizada em agitador horizontal (120 rpm) com dispersante químico NaOH 6% (10 mL) durante 4 h. O conteúdo foi completado com 50 mL de água destilada e duas esferas de nylon de massa individual de 3,04 g, diâmetro 17,1 mm e densidade de 1,11 Mg m⁻³ (SUZUKI et al., 2015). As esferas têm a função de auxiliar na dispersão da fração argila na amostra de solo.

2.4.3 Curva de retenção de água no solo

A curva de retenção de água no solo foi determinada em todos os tratamentos, conforme figura 7. Inicialmente, as amostras de solo foram saturadas por capilaridade por dois dias. Após a saturação, foram drenadas nas tensões de 6 e 10 kPa em coluna de areia (REINERT; REICHERT, 2006) e na tensão de 100 kPa em câmaras de Richards (KLUTE, 1986). A retenção de água no solo nas tensões de 500, 1000 e 1500 kPa foi determinada em psicrômetro, utilizando o aparelho WP4 - potenciômetro do ponto de orvalho (DECAGON, 2000).

2.4.4 Densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, macro e microporosidade

Após atingirem a saturação, as amostras foram colocadas em mesa de tensão a 6 kPa. Após estabilizar a drenagem da água contida nos anéis, estes foram pesados em balança de precisão e, posteriormente, conduzidos ao Extrator de Richards (ou Placa porosa) para determinação da curva de retenção de água no solo. Ao final, os anéis foram secos em estufa a 105 °C, até peso constante, para determinação do peso seco. Com a massa do solo úmido a uma tensão de 6 kPa ($M_{R+so\text{lo}+á\text{gua}}$) e o solo seco em estufa ($M_{R+so\text{lo} \text{ seco}}$) determinou-se a microporosidade (M_{ip}), de acordo com a seguinte expressão:

$$M_{ip} = M_{(R+so\text{lo}+á\text{gua})} - M_{(R+so\text{lo} \text{ seco})} / D_{á\text{gua}} \times \text{volume do cilindro}$$

Na qual: $D_{á\text{gua}}$ = densidade da água, considerada igual a 1,0 kg dm⁻³.

Com o volume do anel e a massa do solo seco foi determinada a densidade do solo, pela seguinte equação:

$$D_s = M_s / V_t$$

Na qual: D_s = densidade do solo (kg dm⁻³), m_s = massa do solo seco em estufa (kg) e v_t = volume total do solo (dm³).

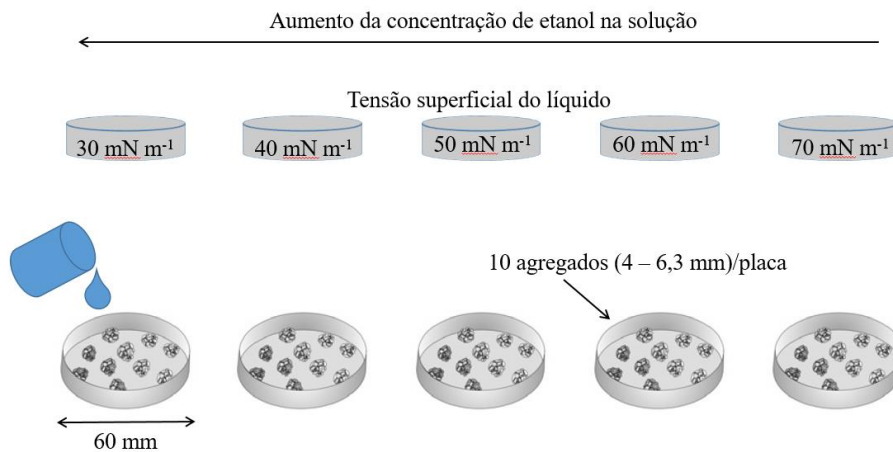
A densidade de partículas (D_p) foi determinada pelo método do balão volumétrico modificado por Gubiani et al. (2006). A porosidade total (P) foi calculada pela expressão $P = 1 - D_s/D_p$ e a macroporosidade (Map) pela expressão: $Map = P - Mip$.

2.4.5 Estabilidade de agregados

A mensuração da estabilidade de agregados foi realizada com amostras de campo parcialmente deformadas, com destorroamento manual e tamizamento a um tamanho entre 4-6,3 mm. A determinação da estabilidade foi realizada por um procedimento desenvolvido por Goebel et al. (2012), com uso da imersão dos agregados em solução de etanol-água com diferentes tensões superficiais. As soluções de etanol-água foram 47,0%, 19,9%, 10,2%, 4,7% e 0,9% (por massa), ou seja, as tensões superficiais de 30, 40, 50, 60 e 70 $mN\ m^{-1}$. As tensões superficiais das soluções etanol-água foram determinadas com balança eletrônica com método de anel de Du Noüy (BACHMANN et al., 2003).

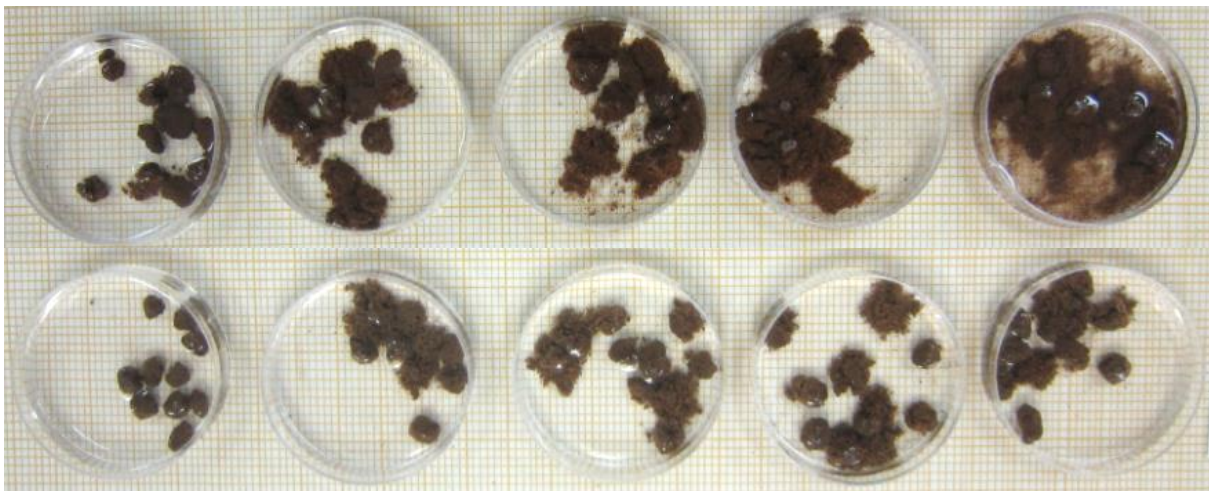
Para a mensuração foram selecionados 10 agregados de cada solo e colocados em placas de Petri de 60 mm de diâmetro. Simultaneamente, 15 mL de cada solução eram adicionados conforme esquema na figura 7. As mudanças na estrutura dos agregados foram analisadas em imagens fotográficas nos tempos de 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 30, e 60 min de imersão, obtidas com câmera digital (Figura 8).

Figura 4 - Esquema laboral para a determinação da estabilidade de agregados.



Fonte: Adaptado de Goebel, 2012.

Figura 5 - Imagem fotográfica da execução do procedimento de determinação da estabilidade de agregados. A sequência das soluções é a mesma do esquema na figura 4.



Fonte: Autor.

Depois de 30 minutos de imersão o número de agregados intactos foi contado em cada placa (C=1 a 5) e a porcentagem de agregados (n=50) foi calculada. A estabilidade de agregados é determinado pelo índice,

$$EA: (\sum_{C1 \text{ a } 5} A) \times (100/n),$$

Na qual c representa cada placa, A=número de agregados intactos por placa e n=número total de agregados. Valores altos indicam forte estabilidade dos agregados.

2.4.6 Atividade enzimática global: hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA)

A hidrólise do FDA é uma medida direta de enzimas extracelulares, é sugerida como medição da capacidade de hidrólise global do solo e um indicador de amplo espectro da atividade biológica do solo (BANDICK; DICK, 1999; PERUCCI et al., 1999).

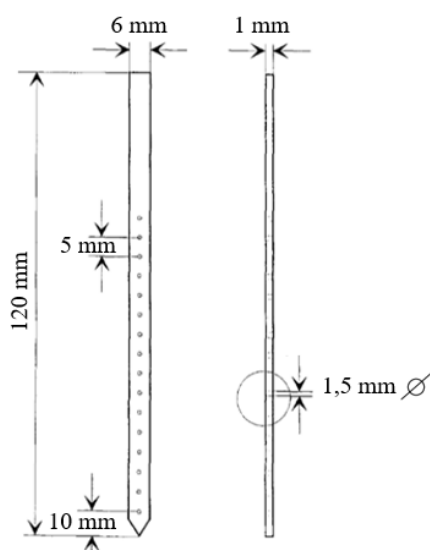
A hidrólise do diacetato de fluoresceína foi determinada utilizando-se a metodologia de Green et al. (2006), com as alterações descritas a seguir. Em triplicata, foi incubado 1 g de solo com 20 mL de tampão fosfato de sódio 60 mM a 25 °C durante 15 min sob agitação a 100 rpm. Após esse período, foram adicionados 100 µL da solução de FDA 4,8 mM. As amostras foram agitadas por 1 h 45 min (100 rpm, 25 °C) e, após, foram adicionados 20 mL de acetona em cada frasco, e solução de FDA 4,8 mM nas amostras controle (que não receberam essa solução antes da incubação). Foram, então, centrifugadas a 6.000 rpm por 5 min e filtradas em papel filtro.

A intensidade da cor amarela foi medida em espectrofotômetro ($\lambda = 490$ nm). A concentração de fluoresceína foi calculada com o auxílio de uma curva padrão preparada com concentrações conhecidas de fluoresceína (1, 2, 3, 4, 5 µg de fluoresceína mL⁻¹). A atividade enzimática foi expressa em µg de fluoresceína liberada por grama de solo seco (µg F g⁻¹ solo seco) por hora.

2.4.7 Avaliação da atividade de organismos no solo – Lâmina Bait

Para determinação da atividade alimentar dos organismos do solo, foi utilizado o método de lâminas Bait proposto por Törne (1990). O método consiste em um conjunto de varetas (lâminas) de cloreto de polivinil (PVC), com 120 mm de comprimento, 6 mm de largura e 1 mm de espessura, com 16 orifícios de 2 mm de diâmetro, espaçados 5 mm entre si, figura 4 (PODGAISKI, 2011). Como substrato foi utilizada uma mistura de celulose em pó (70%), farinha de trigo (27%) e carvão ativado (3%) (RÖMBKE et al., 2006), com a qual preencheram-se manualmente os orifícios. O método das lâminas Bait foi escolhido em função do baixo custo, simplicidade, eficiência e não causar distúrbios na paisagem e no solo (KRATZ, 1998).

Figura 6 - Proporções da Lâmina Bait com o detalhe dos orifícios que são preenchidos com mistura alimentar.



Fonte:Adpatado de Kratz, 1998.

Foram instaladas 24 lâminas em 1 m² em cada ponto amostral. As lâminas permaneceram no solo até a área apresentar consumo aproximado de 50% dos orifícios, sendo retiradas cuidadosamente. O tempo de permanência das lâminas no campo, até que atingissem o ponto de triagem, foi de 21 dias. Em cada orifício foi avaliado o substrato como não consumido (0%) ou totalmente consumido (100%), com auxílio de uma lupa de bancada.

2.4.8 Estrutura fitossociológica dos sistemas

A identificação da composição florística presente nas linhas e entrelinhas do pomar, foi realizada por meio de um estudo fitossociológico das plantas espontâneas. Essa avaliação foi executada em dois períodos, no primeiro período de coleta e no terceiro, com vistas apenas à identificação das plantas presentes em toda a área experimental do pomar de citros e com o objetivo de identificar o efeito do sistema de cultivo na ocorrência das plantas espontâneas.

As amostragens foram realizadas utilizando-se um gabarito de 0,50 x 0,50 m, o qual foi lançado nos pontos da intercessão da malha amostral por duas vezes, em cada tratamento. Para cada amostragem, as plantas foram quantificadas e posteriormente identificadas segundo a família e a espécie.

Foram determinados para caracterizar a florística herbácea:

- Índice de Margalef, pela seguinte equação:

$IM=(S-1)/\ln N$, sendo S o número de espécies registradas e N igual ao número total de indivíduos.

- Riqueza de espécies: número de espécies diferentes de uma determinada região.
- Abundância de espécies: número total de plantas na amostragem.

O levantamento da estrutura fitossociológica das espécies arbóreas no sistema agroflorestal e na floresta de referência (F200) também foi realizado. Todos os exemplares arbóreos adultos foram corretamente identificados com o auxílio da doutoranda Cristina Redin, com base no ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP (APG III) (2009). No entanto, as informações relacionadas a área florestal de referência não serão apresentadas neste presente trabalho, apenas a riqueza de espécies na área agroflorestal (Cs) que foi apresentada no texto citado acima.

Foram estabelecidas duas categorias principais classificadas como umbrófila ou heliófila, de acordo com as condições em que foram coletadas. As plantas consideradas umbrófilas foram aquelas identificadas no interior da linha do pomar sob sombra e as heliófilas, aquelas coletadas em bordas da linha e nas entrelinhas, locais abertos e de pleno sol.

2.4.9 Análise dos dados

Os dados foram submetidos ao teste de Bartlett de homogeneidade das variâncias e teste de Shapiro Wilk para análise da normalidade, ambos com 95% probabilidade.

Os resultados foram submetidos à análise da variância e os contrastes comparados pelo teste F, medindo-se assim a significância (5% de probabilidade). Realizou-se a Correlação de Pearson para identificar possível associação entre variáveis, foi realizada a significância pelo teste t a 5% de significância. Os graus de liberdade dos tratamentos foram desdobrados em contrastes ortogonais (Tabela 1), para cada camada. As análises estatísticas foram realizadas no software R (R CORE TEAM, 2017) e as linhas de comando utilizadas e estruturadas no software estão listadas no Apêndice D.

As médias das variáveis são apresentadas seguido dos respectivos desvios padrão. Em alguns casos oportunos serão apresentados graficamente e com barras de erros. Haverá casos que as médias serão dos quatro períodos, quando as variáveis não apresentarem variação significativa e que represente fenômenos edáficos entre períodos.

Tabela 1- Contrastes ortogonais usados na avaliação dos atributos analisados, considerando os diferentes sistemas de uso e manejo.

Contrastes*	Sistemas de uso e manejo				
	F200	F40	Cs	Co	Cc
C1	1,5	1,5	-1	-1	-1
C2	0	0	1	1	-2
C3	0	0	1	-1	0
C4	1	-1	0	0	0

Fonte: Autor.

*Os contrastes foram utilizados para as três camadas avaliadas separadamente (0 – 0,05; 0,05 – 0,20; e 0,20 – 0,40 m). C1 = Florestas vs. Citros; C2 = Citros orgânico e agroflorestal vs. Citros convencional; C3 = Citros agroflorestal vs. Citros orgânico; e C4= F200 vs. F40.

3. RESULTADOS

3.1 PROPRIEDADES QUÍMICAS

As áreas de manejo ecológico Co e Cs possuem alto pH em todas as camadas estudadas e para todos os períodos, ao passo que a área de manejo convencional Cc apresenta acidez ativa mais elevada, a qual aumenta consideravelmente com a profundidade (Tabela 2). O agricultor que realiza o manejo nas áreas Co e Cs relatou que, no início do manejo de adubação do pomar, foram aplicadas doses de compostagem acima de 40 Mg/ha na área por alguns anos consecutivos, ao passo que o manejo convencional, pela aplicação da fertilização química, apresentou aumento na acidez, como se observa na tabela 2. Esse comportamento é observado também quando se analisa os períodos em separado (Tabela 3). As áreas de floresta apresentaram alta acidez. Quando se observa o tipo de solo (descrito no apêndice), nota-se que a condição natural do solo é de acidez em nível médio (Tabelas 2 e 3).

O fósforo disponível nos sistemas Co e Cs apresentou altos teores em superfície, reduzindo a partir de 0,05 m de camada. Tais teores em superfície foram maiores que na área Cc, enquanto que na camada 0,05 a 0,40 m foi superior às demais áreas.

As áreas apresentam valores baixos de CTC, o que provém da condição do solo de suporte, um solo de textura arenosa com baixos teores de carbono e argila (Figura 7 e Tabela 4).

Tabela 2- Características químicas das áreas de acordo com uso e cobertura da área, nos quatro períodos.

Manejo	pH		TSM		P (mg dm ⁻³)		CTC efetiva cmol _c dm ⁻³		CTC pH7 cmol _c dm ⁻³	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
	Camada 0 a 0,05 m									
Cc	5,7	0,18	7,0	0,07	58,2	13,90	1,4	0,20	1,9	0,26
Co	6,5	0,09	7,0	0,08	134,4	43,64	4,2	0,40	5,0	0,44
Cs	6,6	0,10	6,9	0,12	153,5	19,12	4,9	0,50	5,7	0,58
F40	4,9	0,29	6,4	0,44	16,3	10,60	2,2	0,37	2,9	0,32
F200	5,1	0,24	6,4	0,20	6,1	0,80	2,6	1,28	3,4	0,93
C1	*		*		*		*		*	
C2	*		ns		*		*		*	
C3	ns		ns		ns		ns		ns	
C4	ns		ns		ns		ns		ns	
Camada 0,05 a 0,20 m										
Cc	5,0	0,13	6,7	0,26	46,8	17,35	0,7	0,10	1,1	0,05
Co	6,7	0,19	7,5	0,06	23,2	11,23	1,3	0,46	1,7	0,60
Cs	6,6	0,13	7,1	0,33	32,1	9,92	1,6	0,37	2,0	0,41
F40	4,7	0,12	6,4	0,28	10,1	8,15	1,1	0,24	1,7	0,11
F200	4,7	0,41	6,2	0,55	3,1	0,49	1,7	0,59	3,3	0,71
C1	*		*		*		ns		*	
C2	*		*		*		*		*	
C3	ns		ns		ns		ns		ns	
C4	ns		ns		ns		*		*	
Camada 0,20 a 0,40 m										
Cc	4,9	0,11	6,4	0,27	34,4	13,00	0,6	0,21	1,4	0,13
Co	6,1	0,31	7,3	0,24	3,6	0,97	0,7	0,02	0,9	0,01
Cs	6,4	0,12	7,1	0,20	5,3	1,99	0,9	0,12	1,2	0,44
F40	4,8	0,24	6,5	0,40	7,6	5,15	1,1	0,25	1,8	0,17
F200	4,7	0,24	6,3	0,62	2,8	0,14	1,4	0,27	3,3	0,56
C1	*		*		*		*		*	
C2	*		*		*		ns		ns	
C3	ns		ns		ns		ns		ns	
C4	ns		ns		ns		*		*	

Fonte: Autor.

Cc-citros em cultivo convencional, Cs-citros em cultivo agroflorestal, Co-citros em cultivo orgânico, F40-floresta com 40 anos de regeneração e F200-floresta com 200 anos de regeneração. Contrastes ortogonais pelo teste F a 5%; C1 = Florestas vs. Citros; C2 = Co + Cs vs. Cc; C3 = Cs vs. Co; e C4= F200 vs. F40.

Tabela 3- pH em quatro períodos das áreas de acordo com uso e cobertura da área.

Manejo	pH							
	Período 1		Período 2		Período 3		Período 4	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Camada 0-0,05								
Cc	5,94	0,14	5,34	0,17	5,67	0,28	5,70	0,36
Co	6,75	0,22	6,69	0,02	6,22	0,11	6,22	0,10
Cs	6,92	0,19	6,62	0,12	6,45	0,33	6,51	0,10
F40	5,02	0,29	5,03	0,34	4,86	1,05	4,68	1,12
F200	5,00	0,17	4,67	0,25	5,35	0,57	5,21	0,63
C1	*		*		*		*	
C2	*		*		*		*	
C3	ns		ns		ns		ns	
C4	ns		*		ns		ns	
Camada 0,05-0,20								
Cc	5,24	0,20	4,78	0,10	4,92	0,33	4,99	0,22
Co	6,93	0,33	6,50	0,09	6,67	0,32	6,68	0,36
Cs	7,18	0,22	6,43	0,14	6,49	0,39	6,41	0,37
F40	4,80	0,24	4,78	0,34	4,55	0,23	4,53	0,06
F200	4,68	0,45	4,61	0,41	4,68	0,77	4,71	0,72
C1	*		*		*		*	
C2	*		*		*		*	
C3	ns		ns		ns		ns	
C4	ns		ns		ns		ns	
Camada 0,2-0,40								
Cc	4,94	0,12	4,72	0,09	4,79	0,16	5,03	0,44
Co	6,30	0,28	5,99	0,28	6,13	0,62	6,08	0,73
Cs	6,89	0,20	6,45	0,15	6,14	0,19	6,18	0,28
F40	4,73	0,15	4,83	0,17	4,85	0,72	4,83	0,54
F200	4,92	0,41	4,70	0,46	4,74	0,55	4,49	0,38
C1	*		*		*		*	
C2	*		*		*		*	
C3	*		*		ns		ns	
C4	ns		ns		ns		ns	

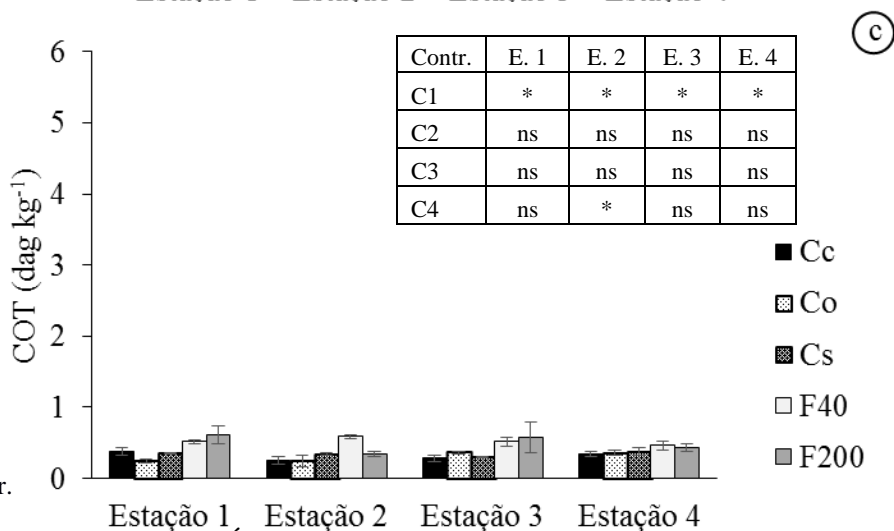
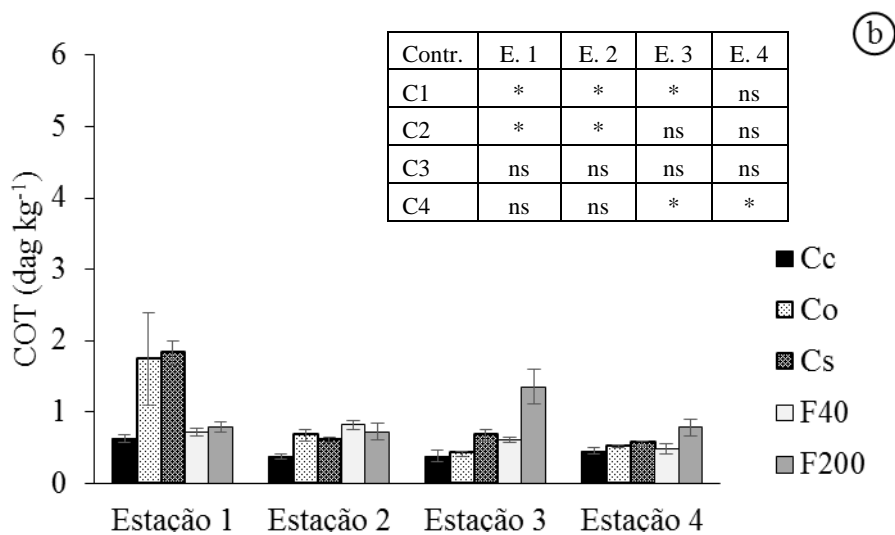
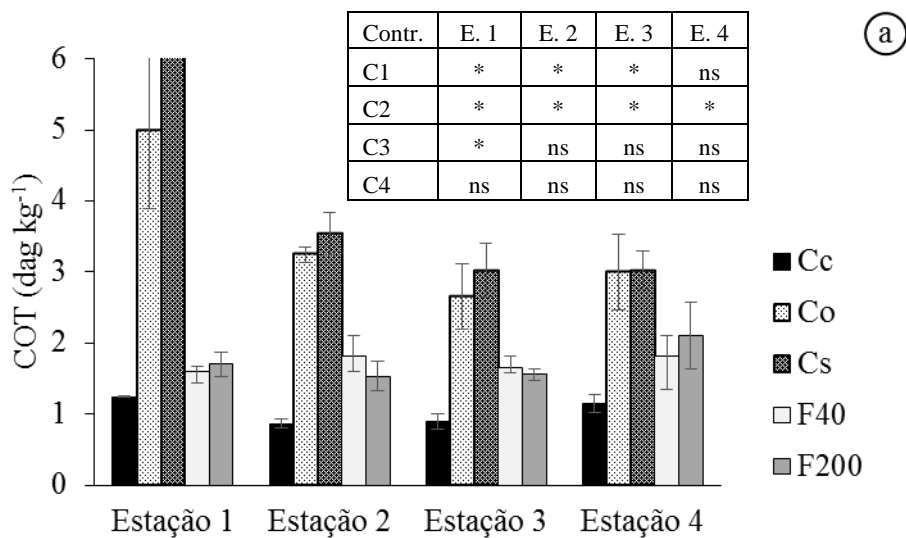
Fonte: Autor.

Cc-citros em cultivo convencional, Cs-citros em cultivo agroflorestal, Co-citros em cultivo orgânico, F40-floresta com 40 anos de regeneração e F200-floresta com 200 anos de regeneração. Contrastes ortogonais pelo teste F a 5%; C1 = Florestas vs. Citros; C2 = Co + Cs vs. Cc; C3 = Cs vs. Co; e C4= F200 vs. F40.

Os valores de CTC na superfície (0 a 0,05 m) nas áreas de manejo biodinâmico (Co e Cs), que receberam compostagem (laudo Anexo 1) desde 1998, mostraram-se superiores aos do Cc, pelo contraste C2. Esse efeito é reflexo do teor de carbono orgânico do solo, 5,00 e 8,36 dag kg⁻¹, respectivamente (Figura 7a).

Esses teores foram maiores na superfície das áreas sob manejo orgânico e, com o aumento da profundidade, os teores diminuíram em todas as áreas de estudo. As áreas florestais foram superiores em relação ao cultivos cítricos, conforme o contraste C1 (Figura 7b e c). O manejo convencional Cc apresentou as menores médias de teores de carbono no solo, embora o contraste C2, nos vários períodos e camadas, não seja significativo.

Figura 7 - Carbono orgânico total do solo, (COT (dag kg^{-1})), nas camadas a (0 a 0,05 m), b (0,05 a 0,20 m) e c (0,20 a 0,40 m) e em quatro períodos de coleta de citros em cultivo convencional (Cc), citros em cultivo agroflorestal (Cs), citros em cultivo orgânico (Co), floresta com 40 anos de regeneração (F40), floresta com 200 anos de regeneração (F200). Contrastes ortogonais pelo teste F a 5%, C1 = Florestas vs. Citros, C2 = Co + Cs vs. Cc, C3 = Cs vs. Co, e C4= F200 vs. F40.



Fonte: Autor.

3.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

As áreas estudadas apresentaram alto teores de areia, acima de 81,0 %; apenas a F40, na camada 0,20 a 0,40, apresentou teor de 77,5 %, ambos altos. Assim, automaticamente o teor de argila baixo, entre 5,4 e 16,8%, reflete na baixa CTC mostrada na tabela 3, condição natural

nos solos da região. As áreas de cultivo de citros apresentaram menores teores de argila em todas as camadas, conforme C1 na tabela 4.

As curvas características de retenção de água do solo (Figura 8) mostram que as áreas Co e Cs têm, em superfície, maior capacidade de retenção que as demais áreas em todas as tensões, seguido da F200. Na camada 0,20-0,40 m, a F200 mostra-se com capacidade superior no início da curva, nas menores tensões. À medida que os potenciais matriciais aumentam os solos apresentam comportamento semelhante.

Tabela 4- Médias e desvios padrão da análise granulométrica do solo de acordo com o sistema de uso e manejo.

Manejo	Areia (%)		Silte (%)		Argila (%)	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Camada 0-0,05						
Cc	89,9	1,3	2,7	0,8	7,3	1,4

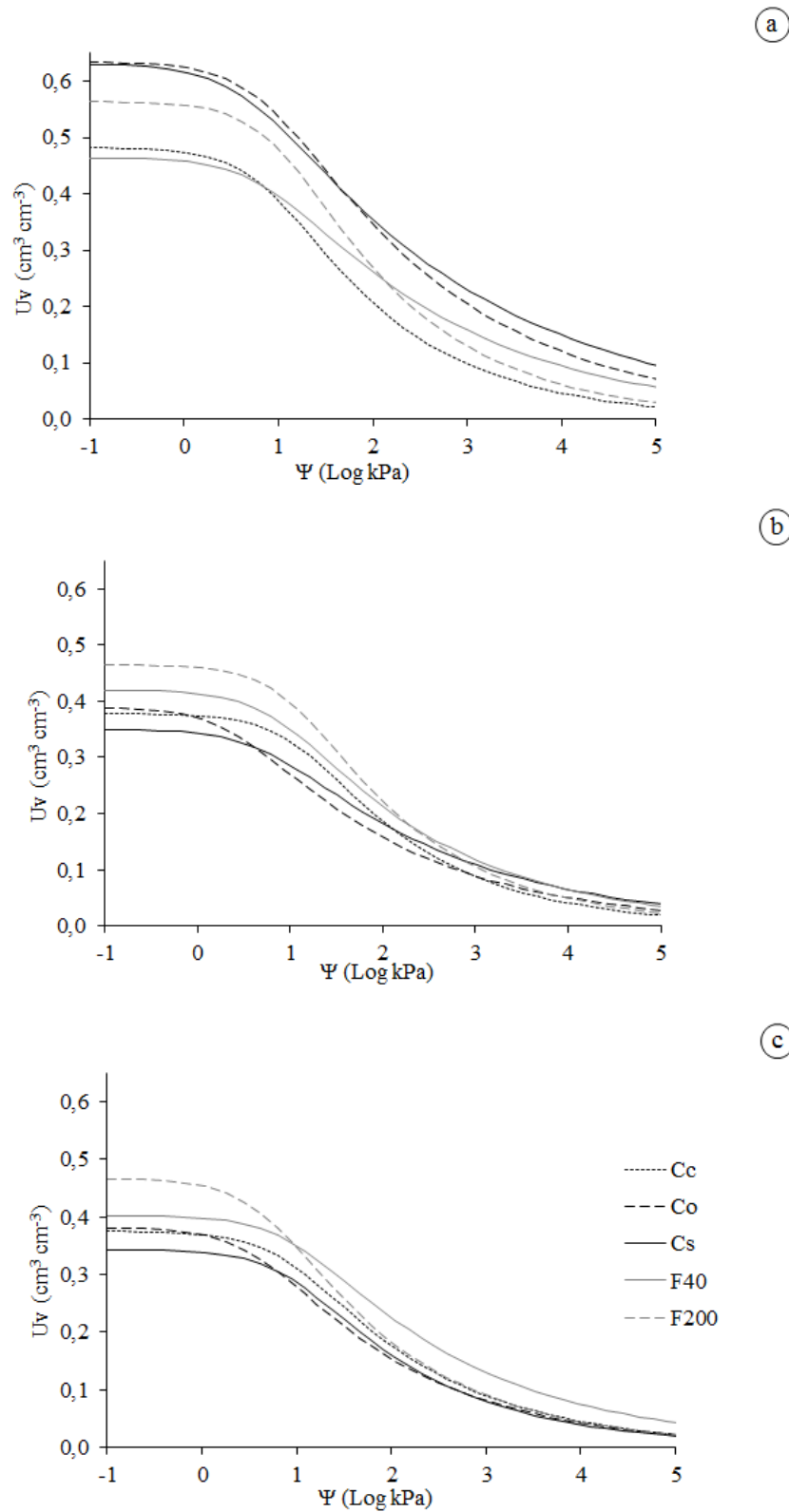
Continua

Co	85,1	3,2	6,2	1,3	8,7	2,9
Cs	84,1	2,4	7,9	1,8	8,1	1,1
F40	82,5	4,0	6,1	2,0	11,4	3,9
F200	83,6	3,0	5,1	1,6	11,3	2,4
C1	*		ns		*	
C2	*		*		ns	
C3	ns		ns		ns	
C4	ns		ns		ns	
Camada 0,05-0,20						
Cc	88,8	2,6	2,8	0,6	8,4	2,2
Co	88,5	3,0	4,2	2,4	7,2	3,6
Cs	90,7	2,3	3,9	1,6	5,4	1,1
F40	81,0	4,5	5,8	1,5	13,2	4,3
F200	85,6	2,3	4,4	1,1	10,0	1,5
C1	*		*		*	
C2	ns		ns		ns	
C3	ns		ns		ns	
C4	*		ns		ns	
Camada 0,2-0,40						
Cc	86,2	4,0	2,5	0,7	11,3	3,7
Co	88,1	1,9	3,9	0,6	8,0	2,2
Cs	84,7	2,8	4,5	2,2	10,7	2,0
F40	77,5	5,0	5,7	0,6	16,8	4,7
F200	86,5	3,6	3,8	1,1	9,6	3,7
C1	ns		*		*	
C2	ns		*		ns	
C3	ns		ns		ns	
C4	ns		*		*	

Fonte: Autor.

Cc-citros em cultivo convencional; Cs-citros em cultivo agroflorestal; Co-citros em cultivo orgânico; F40-floresta com 40 anos de regeneração; F200-floresta com 200 anos de regeneração. Contrastes ortogonais pelo teste F a 5%; C1 = Florestas vs. Citros; C2 = Co + Cs vs. Cc; C3 = Cs vs. Co; e C4= F200 vs. F40.

Figura 8 – Curva características de retenção de água no solo das áreas em estudo: Cc-citros em cultivo convencional, Cs-citros em cultivo agroflorestal, Co-citros em cultivo orgânico, F40-floresta com 40 anos de regeneração, F200-floresta com 200 anos de regeneração, agrupadas nas camadas a (0 a 0,05 m), b (0,05 a 0,20 m) e c (0,20 a 0,40 m).



Fonte: Autor.

As áreas de manejo biodinâmico, Co e Cs, possuem baixa densidade do solo (D_s), o que se reflete nos resultados de porosidade total (PT) e microporosidade (Mip). Os valores de D_s são inferiores a 1 g cm^{-3} e PT com média $0,63 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, e microporosidade entre 0,35 e 0,40. O

efeito significativo encontra-se na superfície e é justificado pelo manejo ecológico do sistema com adubação de compostagem e deposição de resíduos, principalmente (Tabela 5).

As áreas florestais apresentam indicadores médios para as variáveis citadas, enquanto que o cultivo convencional Cc apresenta os valores inferiores em qualidade, com Ds igual 1,40 g cm⁻³, PT com 0,47 m³ m⁻³ e Mip de 0,27 m³ m⁻³.

À medida que se aprofunda no perfil das áreas, há um aumento da densidade e redução do sistema poroso. A microporosidade reduziu com maior intensidade que a macroporosidade. A PT maior foi observada na F200 (tabela 5).

Tabela 5- Variáveis físicas do solo (Médias e desvios padrão): Densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), microporosidade (Mip) e macroporosidade (Map) de acordo com o sistema de uso e manejo, em três camadas de profundidade.

continua

Manejo	Ds		PT		Mip		Map	
	g cm ⁻³		m ³ m ⁻³		m ³ m ⁻³		m ³ m ⁻³	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Camada 0 a 0,05 m								
Cc	1,40	0,08	0,47	0,03	0,27	0,03	0,20	0,04
Co	0,98	0,14	0,63	0,06	0,35	0,05	0,27	0,06
Cs	0,96	0,19	0,64	0,07	0,40	0,06	0,23	0,05
F40	1,22	0,13	0,54	0,05	0,30	0,05	0,24	0,05
F200	1,16	0,11	0,56	0,04	0,30	0,04	0,26	0,04
C1	*		ns		ns		ns	
C2	*		ns		ns		ns	
C3	ns		ns		ns		ns	
C4	*		ns		ns		ns	
Camada 0,05 a 0,20								
Cc	1,64	0,07	0,38	0,03	0,21	0,02	0,17	0,03
Co	1,55	0,07	0,42	0,03	0,19	0,03	0,23	0,04
Cs	1,59	0,09	0,40	0,03	0,20	0,03	0,20	0,04
F40	1,55	0,08	0,42	0,03	0,23	0,03	0,19	0,04
F200	1,39	0,11	0,48	0,04	0,24	0,03	0,23	0,04
C1	*		*		*		*	
C2	ns		ns		ns		ns	
C3	ns		ns		ns		ns	
C4	ns		ns		ns		ns	
Camada 0,20 a 0,40								
Cc	1,66	0,08	0,37	0,03	0,20	0,02	0,17	0,03
Co	1,60	0,08	0,40	0,03	0,18	0,02	0,21	0,03
Cs	1,75	0,04	0,34	0,02	0,18	0,02	0,16	0,02

F40	1,57	0,11	0,41	0,04	0,24	0,05	0,17	0,05
F200	1,40	0,08	0,47	0,03	0,22	0,03	0,25	0,04
C1	*		*		*		*	
C2	ns		ns		ns		ns	
C3	ns		ns		ns		ns	
C4	ns		ns		ns		ns	
								conclusão

Fonte: Autor.

Cc-citros em cultivo convencional; Cs-citros em cultivo agroflorestal; Co-citros em cultivo orgânico; F40-floresta com 40 anos de regeneração; F200-floresta com 200 anos de regeneração. Contrastes ortogonais pelo teste F a 5%; C1 = Florestas vs. Citros; C2 = Co + Cs vs. Cc; C3 = Cs vs. Co; e C4= F200 vs. F40.

A estabilidade de agregados (EA), apresentada na tabela 6, refere-se a valores para o tempo de 30 minutos de contato com a solução tensionante, de acordo com Goebel, 2005. Nas figuras 9 e 10, os gráficos a, b e c permitem observar a estabilidade das amostras de solo em função do tempo.

A EA é avaliada com relação à persistência e à cinética da desagregação. A persistência à desagregação é medida pela EA intactos no tempo de 30 min de imersão (tabela 6). A cinética inicial da quebra de agregados é apresentada graficamente com a percentagem de agregados intactos em função do tempo (figuras 9 e 10).

Não houve diferença estatística entre áreas para as camadas estudadas. Todos apresentaram alta estabilidade, acima de 84,0 % de agregação no período 1, valor considerado alto para o método proposto. No período 3, apenas a área F40 foi abaixo dos demais, na superfície. Na camada 0,05 a 0,20 m, os contrastes não foram significativos; nota-se a semelhança novamente entre áreas, e também os valores nessa parte representam baixa estabilidade, a qual diminui ainda mais na camada 0,20 a 0,40m. Apenas a área F200 foi maior. Entre os períodos 1 e 3, o comportamento observado foi semelhante nas áreas (tabela 6).

Tabela 6- Médias e desvios padrão da estabilidade de agregados para os períodos 1 e 3 de acordo com o sistema de uso e manejo.

Manejo	Estabilidade de agregados (EA)	
	Período 1	Período 3

	%		%	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Camada 0 a 0,05 m				
Cc	97,3	4,4	97,3	4,3
Co	98,0	2,8	99,8	0,7
Cs	99,4	0,9	98,4	2,6
F40	84,0	22,3	45,0	4,2
F200	97,3	4,8	99,4	0,9
C1	ns		*	
C2	ns		ns	
C3	ns		ns	
C4	ns		*	
Camada 0,05 a 0,20				
Cc	31,1	28,8	34,0	22,9
Co	45,1	29,1	33,4	15,6
Cs	49,6	26,3	44,9	23,3
F40	39,2	27,7	28,5	6,6
F200	78,2	23,9	57,2	18,1
C1	ns		ns	
C2	ns		ns	
C3	ns		ns	
C4	*		*	
Camada 0,20 a 0,40				
Cc	7,4	7,8	8,7	10,5
Co	19,0	7,5	17,5	8,5
Cs	11,6	7,1	8,9	6,9
F40	8,0	5,9	13,0	6,3
F200	26,3	10,1	30,0	8,0
C1	ns		*	
C2	ns		ns	
C3	ns		ns	
C4	*		*	

Fonte: Autor.

Cc-citros em cultivo convencional, Cs-citros em cultivo agroflorestal, Co-citros em cultivo orgânico, F40-floresta com 40 anos de regeneração, F200-floresta com 200 anos de regeneração. Contrastes ortogonais pelo teste F a 5%, C1 = Florestas vs. Citros, C2 = Co + Cs vs. Cc, C3 = Cs vs. Co, e C4= F200 vs. F40.

Figura 9 - Gráficos de estabilidade de agregados de acordo com o tempo de imersão. Os três conjuntos representam a EA nas camadas a (0 a 0,05 m), b (0,05 a 0,20 m) e c (0,20 a 0,40 m) e na coleta realizada no período 1. Cc-citros em cultivo convencional, Cs-citros em cultivo agroflorestal, Co-citros em cultivo orgânico, F40-floresta com 40 anos de regeneração, F200-floresta com 200 anos de regeneração. Contrastes ortogonais pelo teste F a 5%, C1 = Florestas vs. Citros, C2 = Co + Cs vs. Cc, C3 = Cs vs. Co, e C4= F200 vs. F40.

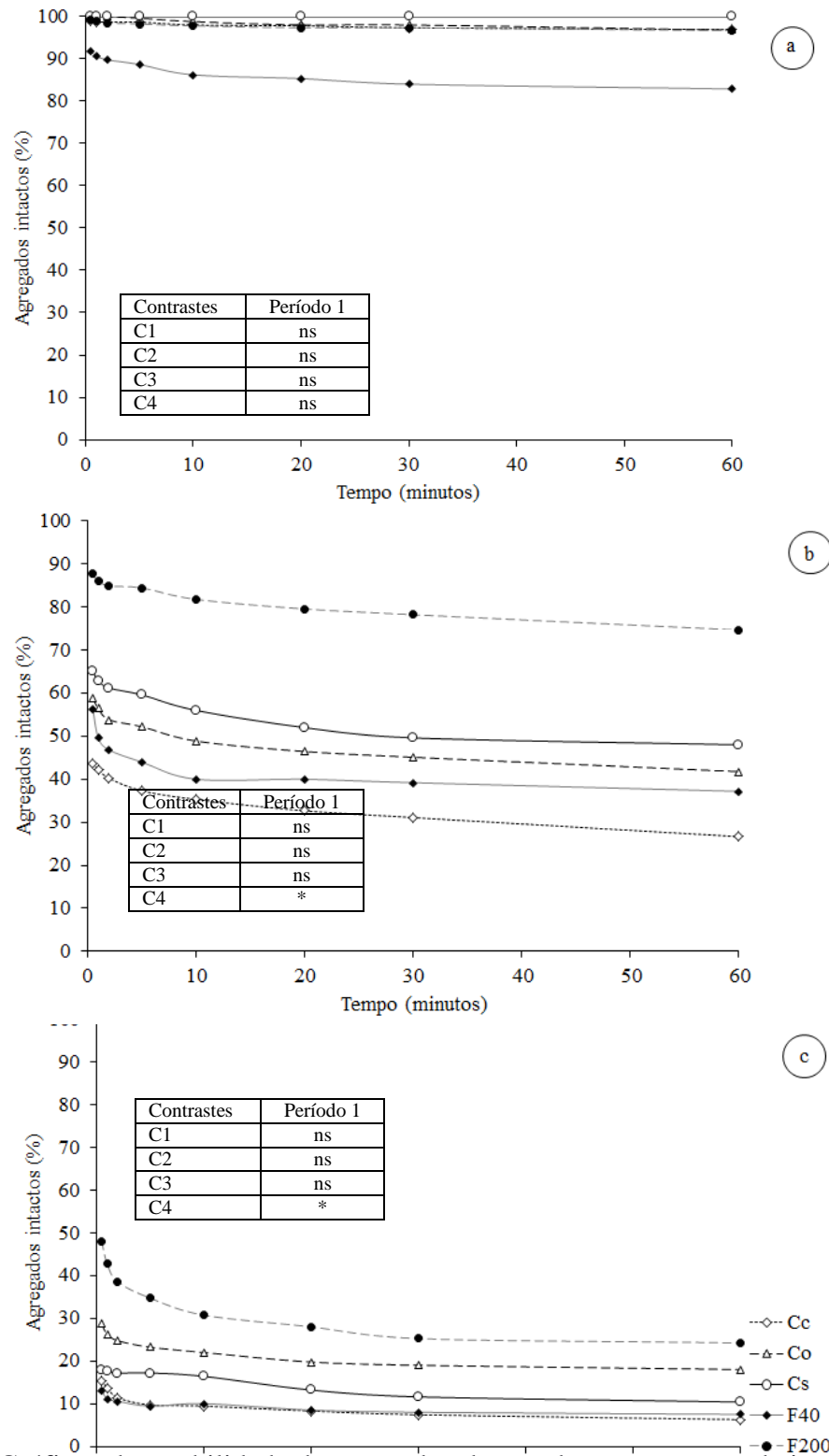
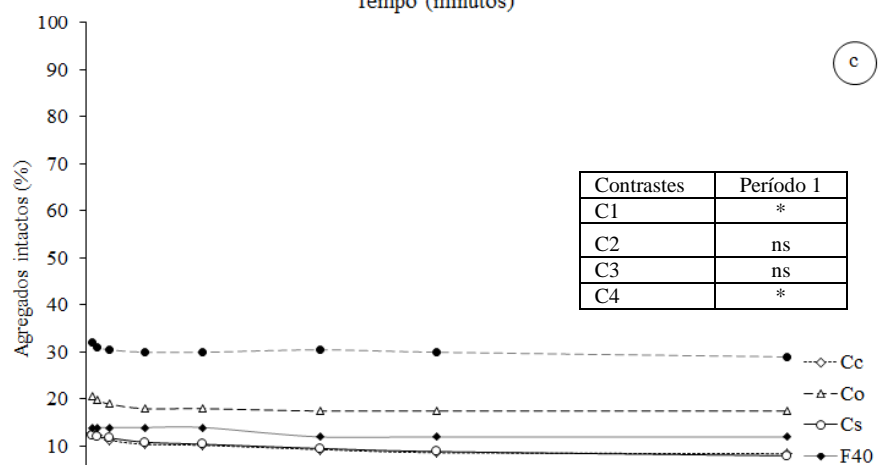
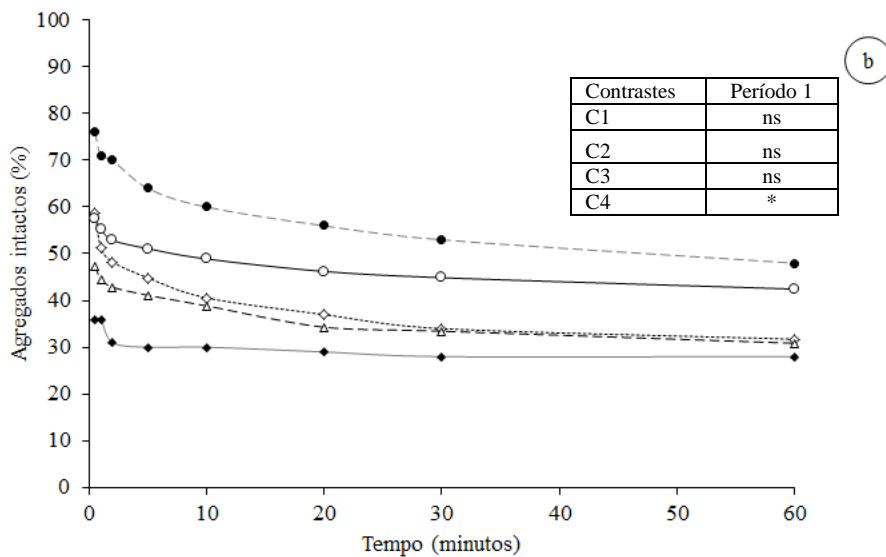
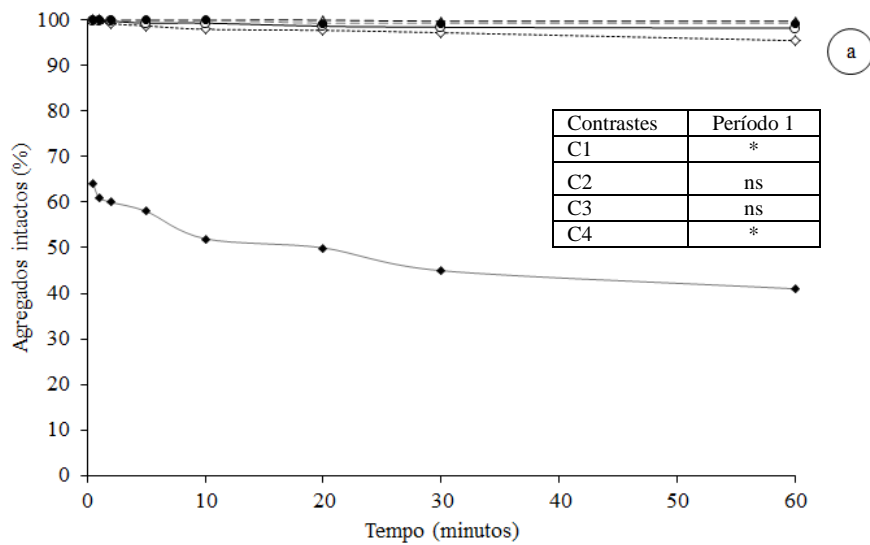


Figura 10 - Gráficos de estabilidade de agregados de acordo com o tempo de imersão. Os três conjuntos representam a EA nas camadas a) (0 a 0,05 m), b) (0,05 a 0,20 m) e c) (0,20 a 0,40 m) e na coleta realizada no período 3. Cc-citros em cultivo convencional, Cs-citros em cultivo agroflorestal, Co-citros em cultivo orgânico, F40-floresta com 40 anos de regeneração, F200-floresta com 200 anos de regeneração. Contrastes ortogonais pelo teste F a 5%, C1 = Florestas vs. Citros, C2 = Co + Cs vs. Cc, C3 = Cs vs. Co, e C4= F200 vs. F40.



As propriedades biológicas do solo estão representadas por dados de hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) e atividade alimentar da fauna do solo (Lâmina Bait) para os quatro períodos. A atividade enzimática entre os períodos mostra um comportamento dinâmico, com teores que revelam alteração baixa ao longo dos períodos de estudo. Nos dois primeiros períodos os teores foram mais baixos, mas se elevaram até o quarto período (tabela 7).

Nos solos, de modo geral, o teor de atividade biológica decai com a profundidade. Valores mais elevados da atividade enzimática são esperados em áreas florestais, pelo grande aporte de material orgânico na serrapilheira, mas apenas no período quatro isso foi significativo (contraste 1). Com relação às áreas de cultivo, efeito semelhante ao florestal ocorreu na primeira camada do solo nas áreas de citros orgânico e agroflorestal, devido à aplicação frequente de compostagem em ambas as áreas e na segunda pelo aporte de material de árvores adjacentes, enquanto que o cultivo de citros em sistema convencional apresentou menores teores em todos períodos, (contraste 2, na tabela 7).

Tabela 7- Conteúdo de Diacetato de Fluoresceína nos solos, sob distintos sistemas de uso e manejo, médias e erros padrão dos quatro períodos.

Manejo	Fluoresceína (μg fluoresceína g^{-1} solo seco h^{-1})							
	Período 1		Período 2		Período 3		Período 4	
	\bar{x}	S_x	\bar{x}	S_x	\bar{x}	S_x	\bar{x}	S_x
Camada 0-0,05								

Cc	75,8	6,9	88,2	5,5	96,3	4,6	109,5	3,5
Co	93,8	5,6	111,7	3,4	126,6	5,2	110,2	2,8
Cs	97,8	2,3	100,9	1,7	130,7	2,6	110,2	5,7
F40	103,2	6,7	109,3	3,3	117,1	3,8	126,9	2,8
F200	97,9	2,4	109,8	6,5	139,6	1,8	131,6	0,9
C1	ns		ns		ns		*	
C2	*		*		*		ns	
C3	ns		ns		ns		ns	
C4	ns		ns		ns		ns	
Camada 0,05-0,20								
Cc	49,1	6,1	20,1	2,1	27,2	2,3	34,3	3,9
Co	23,0	2,7	23,4	4,2	22,6	6,8	13,7	3,3
Cs	30,6	5,4	12,7	2,0	20,2	3,5	15,2	1,4
F40	76,5	7,9	28,7	1,4	39,1	6,5	40,2	8,8
F200	57,3	3,7	49,1	9,9	106,2	10,7	114,7	4,3
C1	ns		ns		ns		ns	
C2	ns		ns		ns		ns	
C3	ns		ns		ns		ns	
C4	ns		ns		ns		ns	
Camada 0,2-0,40								
Cc	19,1	1,5	21,0	2,3	23,8	8,4	40,0	6,9
Co	10,1	1,6	5,0	1,0	6,2	1,7	12,0	2,9
Cs	3,2	1,0	1,3	0,6	5,3	0,8	4,4	5,7
F40	45,9	12,9	23,0	1,9	25,0	5,4	21,8	6,1
F200	34,2	4,3	46,8	12,2	67,2	13,6	86,0	9,3
C1	ns		ns		ns		ns	
C2	ns		ns		ns		ns	
C3	ns		ns		ns		ns	
C4	ns		ns		ns		ns	

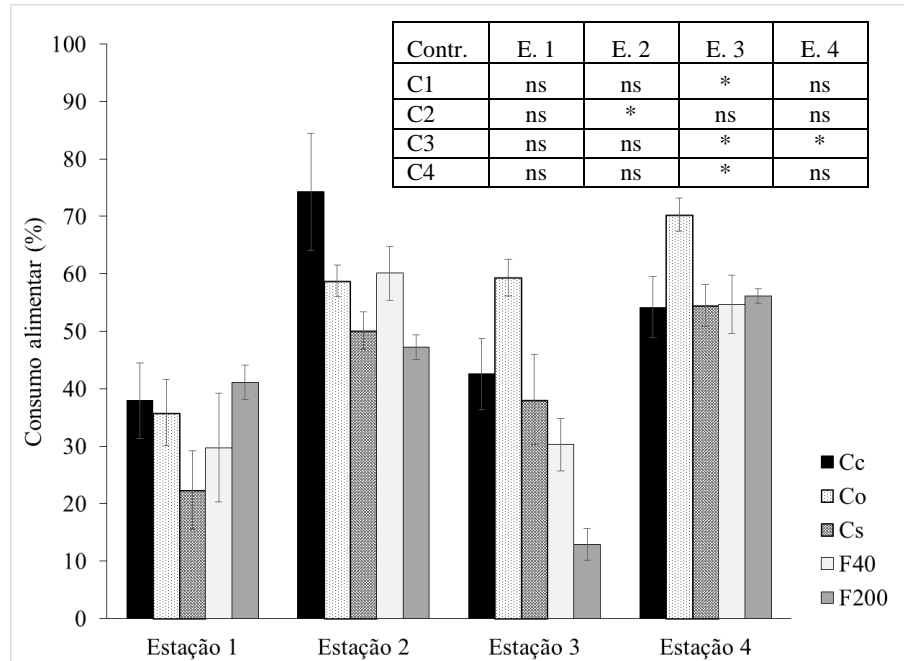
Fonte: Autor.

Cc-citros em cultivo convencional; Cs-citros em cultivo agroflorestal; Co-citros em cultivo orgânico; F40-floresta com 40 anos de regeneração; F200-floresta com 200 anos de regeneração. Contrastes ortogonais pelo teste F a 5%; C1 = Florestas vs. Citros; C2 = Co + Cs vs. Cc; C3 = Cs vs. Co; e C4= F200 vs. F40.

Os dados da atividade alimentar da fauna do solo são apresentados graficamente como média de todo o conjunto de furos por lâmina, com barras de erros. Um efeito biológico oscilatório ocorreu entre os períodos, exceto para o sistema Co, que teve atividade gradativamente crescente (Figura 11).

As áreas não diferiram entre si nos períodos. Apenas a Co foi maior que Cs nos períodos 3 e 4, de acordo com contraste 3. Apenas no período 3, as áreas F200 e F40 apresentaram valores menores de atividade alimentar, enquanto que as áreas de citros foram significativamente iguais, (Figura 11).

Figura 11 - Atividade alimentar média da família em cada período, na camada padrão de 7,5 cm, em Cc-citros em cultivo convencional, Cs-citros em cultivo agroflorestal, Co-citros em cultivo orgânico, F40-floresta com 40 anos de regeneração, F200-floresta com 200 anos de regeneração. Contrastes ortogonais pelo teste F a 5%, C1 = Florestas vs. Citros, C2 = Co + Cs vs. Cc, C3 = Cs vs. Co, e C4= F200 vs. F40. Barras de erro padrão.



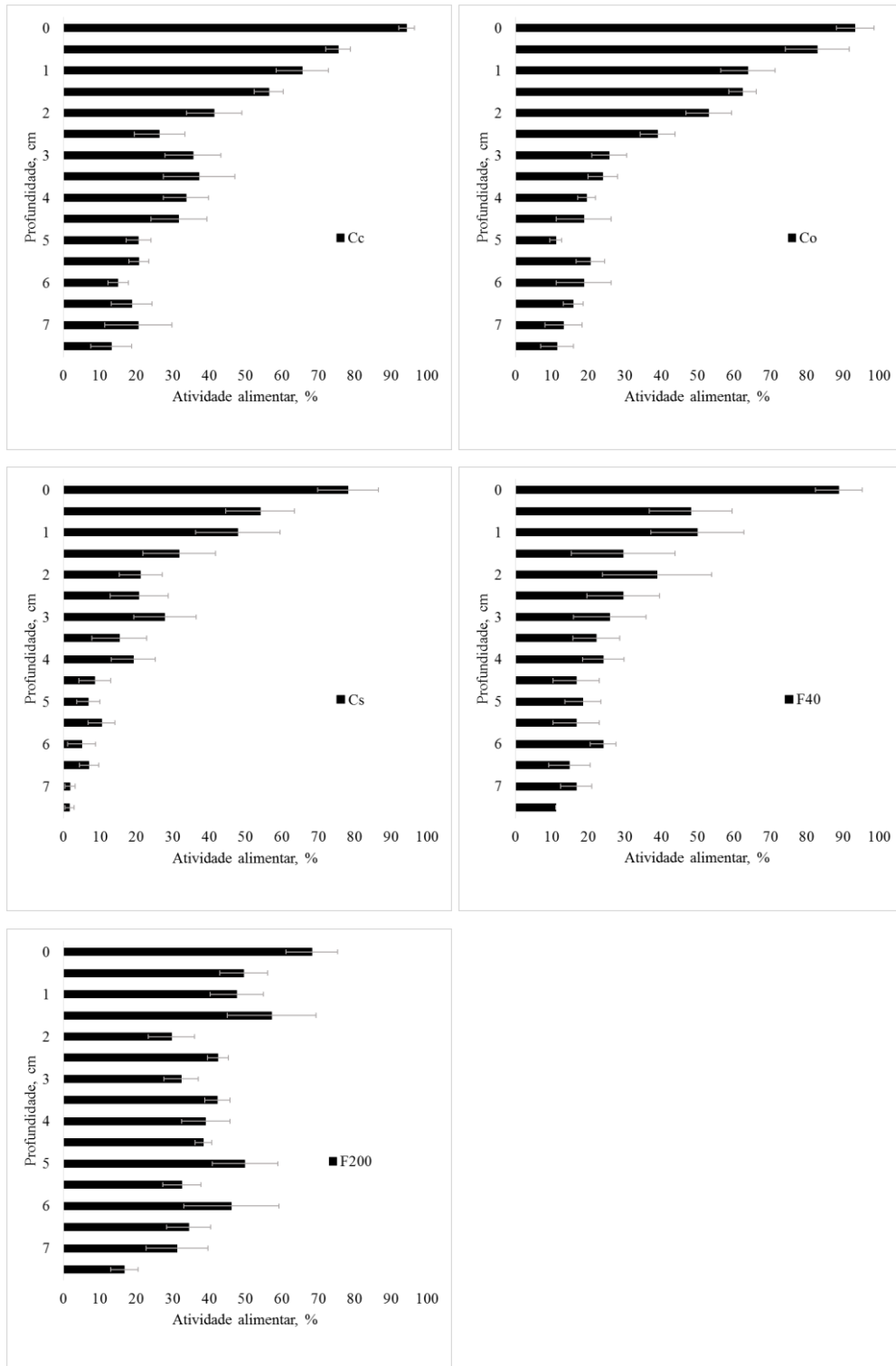
Fonte: Autor.

A atividade alimentar da fauna de acordo com a camada é apresentada nas figuras 12 a 15 de acordo com os períodos e sistemas de uso e manejo. O consumo alimentar do método tem um gradiente, na superfície com consumo mais elevado e a medida que aprofunda no solo o consumo reduz. Esse resultado pode representar uma facilitação direta dos fatores bióticos e maior atividade biológica nos primeiros centímetros do perfil, e que a medida que se aprofunda no solo a atividade biológica diminui.

No primeiro período (Figura 12) comportamento semelhante se observa entre as áreas de cultivo cítrica e a área florestal F40, com consumo mais intenso próximo à superfície e menos intenso em profundidade. Fato marcante é o comportamento da floresta F200, nos períodos 1, 2 e 4, com um consumo homogêneo ao longo da lâmina, o que representa comportamento ativo da fauna no solo com estabilidade biológica. No período 2 (figura 11 e 13), houve o maior consumo geral entre os períodos estudadas. A área de Cc com alto consumo em todo seguimento, enquanto as outras áreas Co, Cs e F40 apresentaram um gradiente de consumo. Em relação ao período 3, o comportamento alimentar foi semelhante entre as áreas

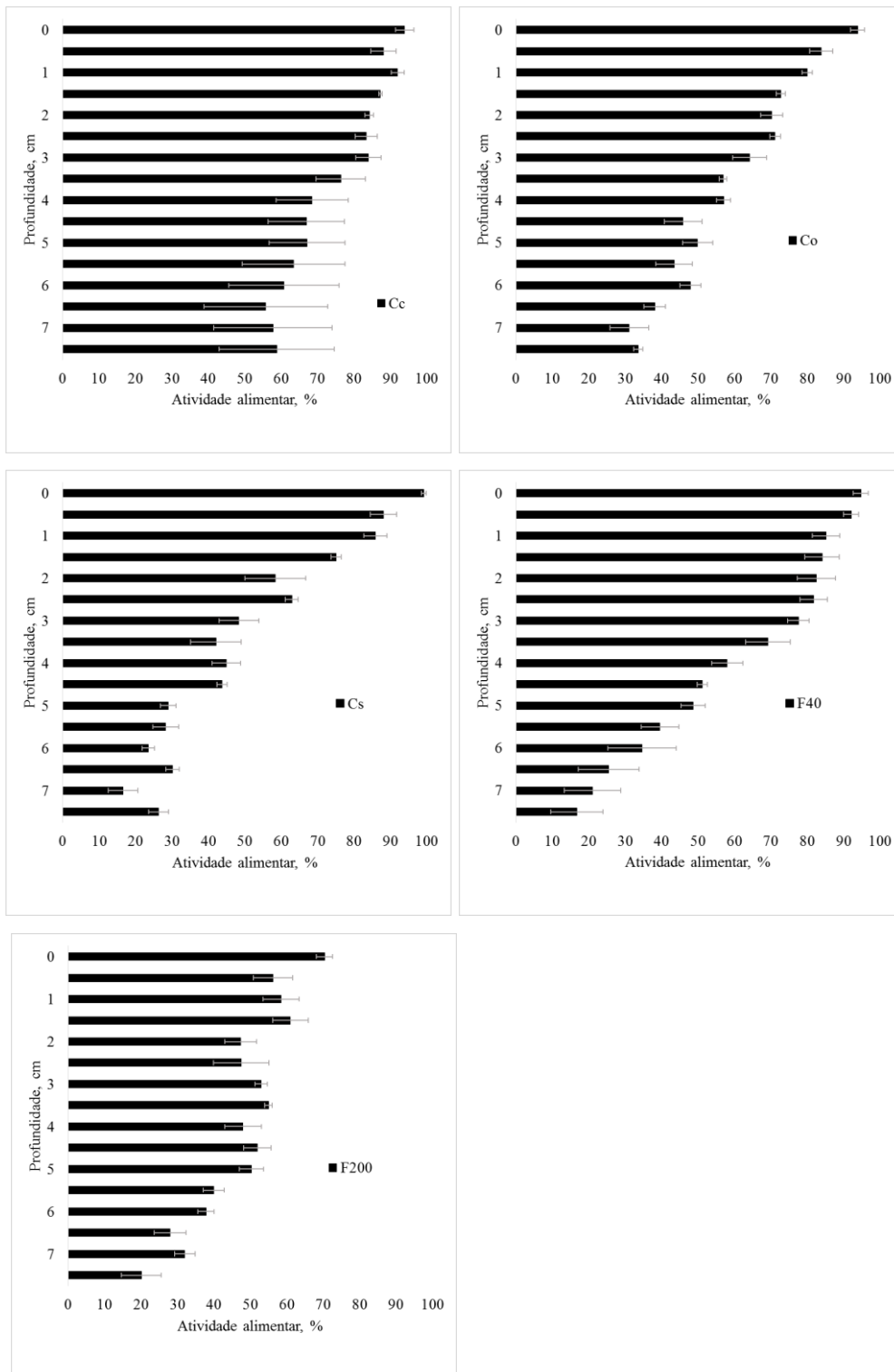
florestais e agroflorestal, com um gradiente de alta atividade na superfície e pouco consumo em profundidade (figura 14), enquanto o período 4 (figura 15) assemelhou-se ao período 2. As práticas agrícolas proporcionam entendimento aos efeitos observados, o alto consumo nas lâminas no Cc a partir das práticas de adubação mineral e aplicação de agrotóxicos dessecantes enquanto que nas áreas de manejo biodinâmico com práticas de manutenção da vegetação herbácea, basicamente roçagem, proporcionam mais estabilidade à fauna presente no solo.

Figura 12 - Atividade alimentar da fauna do solo no Período 1, na camada até 7,5 cm. Legenda: Cc-citros em cultivo convencional, Cs-citros em cultivo agroflorestal, Co-citros em cultivo orgânico, F40-floresta com 40 anos de regeneração, F200-floresta com 200 anos de regeneração. Barras de erros padrão.



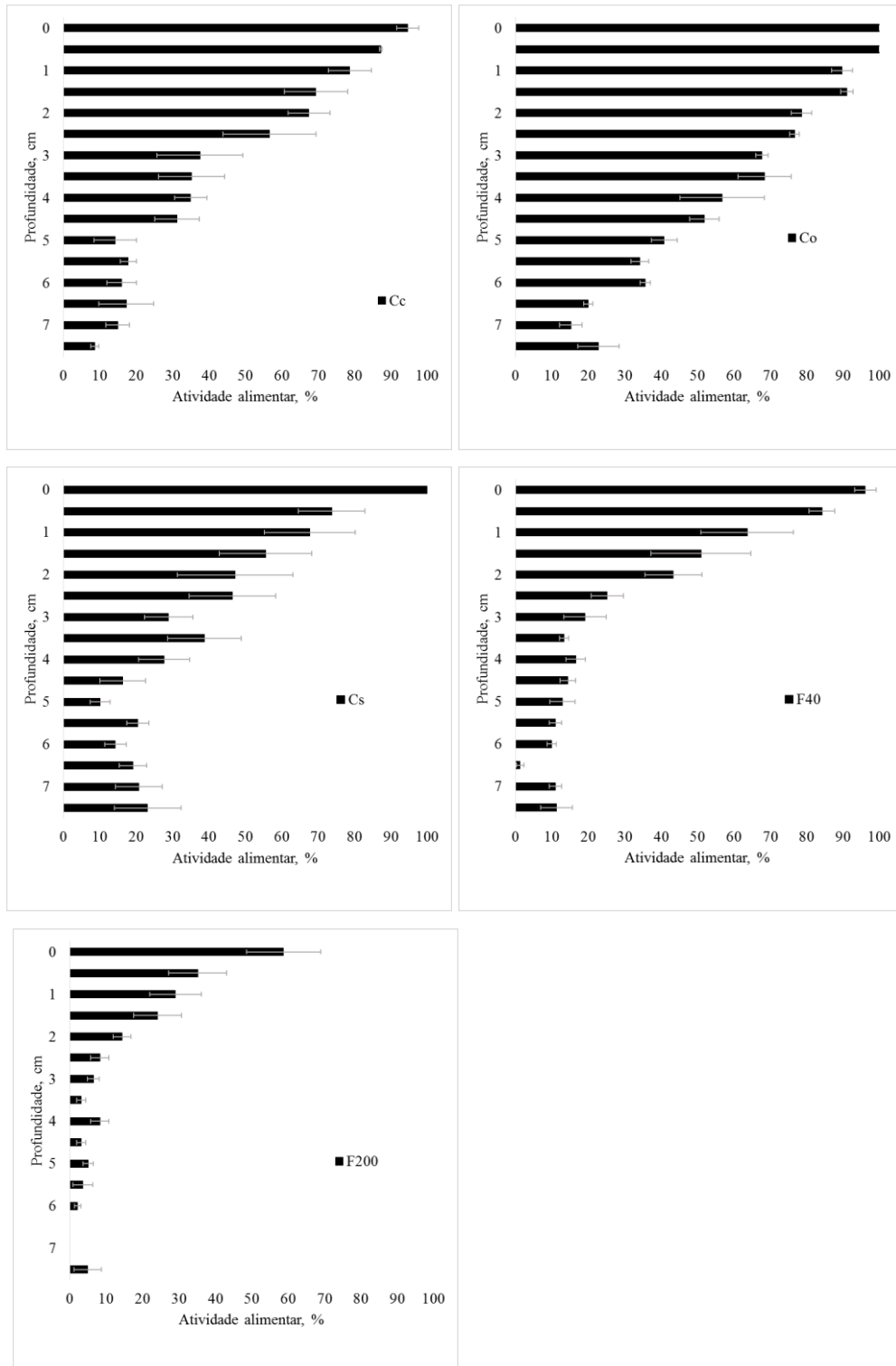
Fonte: Autor.

Figura 13 - Atividade alimentar da fauna do solo no Período 2, na camada até 7,5 cm. Legenda: Cc-citros em cultivo convencional, Cs-citros em cultivo agroflorestal, Co-citros em cultivo orgânico, F40-floresta com 40 anos de regeneração, F200-floresta com 200 anos de regeneração. Barras de erros padrão.



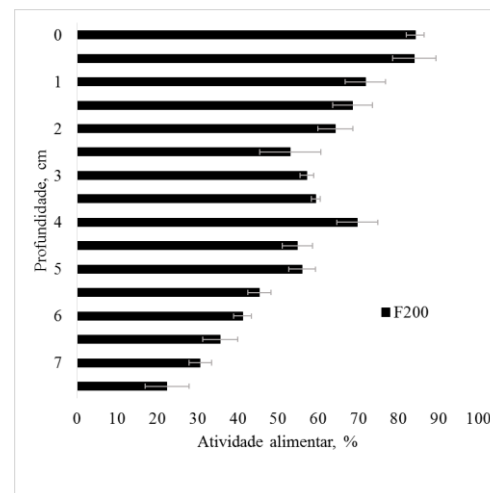
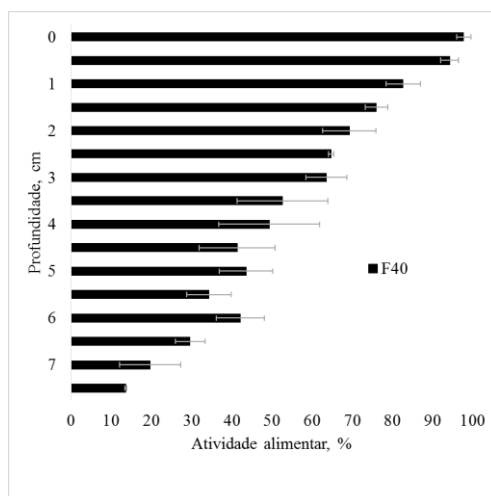
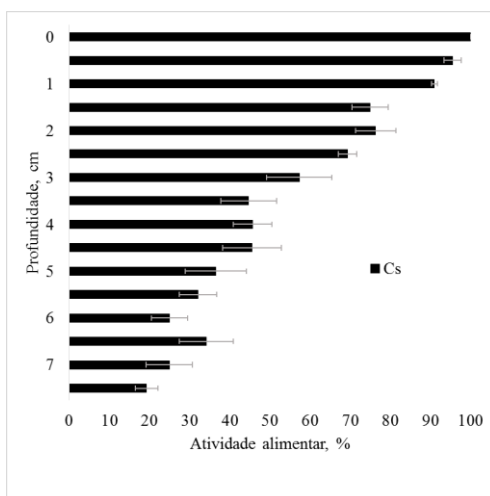
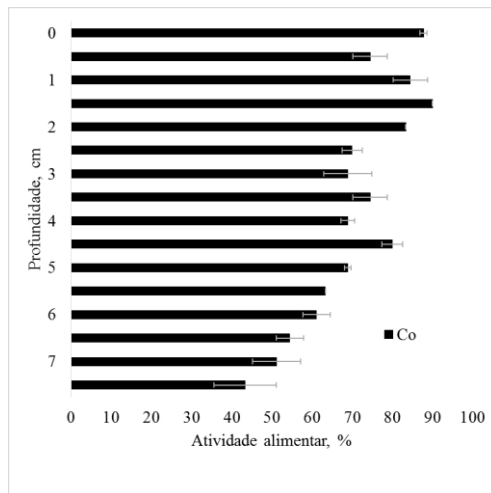
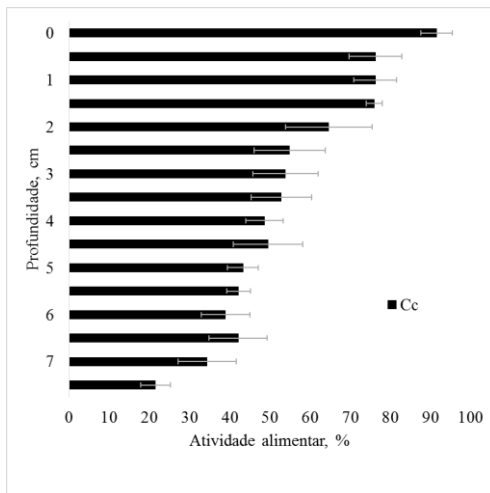
Fonte: Autor.

Figura 14 - Atividade alimentar da fauna do solo no período 3, na camada até 7,5 cm. Legenda: Cc-citros em cultivo convencional, Cs-citros em cultivo agroflorestal, Co-citros em cultivo orgânico, F40-floresta com 40 anos de regeneração, F200-floresta com 200 anos de regeneração. Barras de erros padrão.



Fonte: Autor.

Figura 15 - Atividade alimentar da fauna do solo no período 4, na camada até 7,5 cm. Legenda: Cc-citros em cultivo convencional, Cs-citros em cultivo agroflorestal, Co-citros em cultivo orgânico, F40-floresta com 40 anos de regeneração, F200-floresta com 200 anos de regeneração. Barras de erros padrão.



Fonte: Autor.

3.3 FLORÍSTICA HERBÁCEA

O levantamento fitossociológico realizado nas linhas e entrelinhas apresentou características superiores no sistema Cs, seguido pelo Co, enquanto a área Cc se mostrou com

menores índices (Tabela 8). É importante ressaltar que o período 1 compreendeu um período primaveril, e que o extrato herbáceo se encontra em plena vegetação e/ou floração para a maioria das plantas em ambiente sub-tropical. O período 3 corresponde a um período outonal e a maioria das plantas encontram-se em senescência.

Nos sistemas Co e Cs, o manejo do extrato herbáceo é feito apenas com roçagem ao longo do ano e com deposição dos ramos de poda dos cítricos e das árvores, esse último apenas na área agroflorestal. No caso do Cc, ocorre manejo com cultivo de cobertura com azevém e nabo no período outono inverno e posterior dessecamento com herbicidas. O período 3 representa um momento em que a lavoura havia sido manejada com herbicida e o levantamento do extrato herbáceo foi realizado apenas na linha de cultivo, único local em que se encontrava vegetação herbácea remanescente. O manejo adotado nos sistemas Co e Cs, em comparação com Cc, mostra como a ocorrência de espécies é semelhante no manejo biodinâmico e com maior riqueza. O índice de Margalef representa bem a característica dos agroecossistemas (Tabela 8).

Comportamento diferente ocorrem nas áreas em que lavouras foram manejadas com vegetação espontânea, como é o caso do Cs e Co. Ocorreram plantas sazonais, como por exemplo a *Stellaria* sp, conhecida popularmente como “erva de pinto”, uma planta que ocorre no período outono/inverno e não se encontra normalmente nos campos durante primavera/verão. Outro fenômeno observado foi o grande número de espécies da família Poaceae, frequente em muitos ambientes e sistemas (Tabela 9).

Tabela 8- Caracterização fitossociológica de plantas espontâneas identificadas no período 1 e 2.

Manejo	Período 1			Período 3		
	Abundância	Riqueza	Índice de Margalef	Abundância	Riqueza	Índice de Margalef
Cc	956	14	1,89	797	12	1,65
Co	1802	28	3,60	1153	15	1,99
Cs	1622	33	4,33	1389	23	3,04

Fonte: Autor.

Cc-citros em cultivo convencional, Cs-citros em cultivo agroflorestal, Co-citros em cultivo orgânico.

Nos dois períodos de avaliação, foram identificadas 48 espécies distribuídas em 23 famílias, com destaque para *Asteraceae* e *Poaceae*, com maior número, espécies em cada. A *Fabaceae* e a *Commelinaceae* são famílias que foram encontradas apenas nas áreas de cultivos biodinâmicos Co e Cs. O agricultor com sua experiência relata o benefício observado,

discute a cobertura e biomassa que as plantas dessa família proporciona, fácil manejo e baixa competição com as plantas de citros.

Tabela 9- Espécies de plantas espontâneas identificadas no levantamento fitossociológico e sua riqueza em cada área de citros, nas estações primavera/2014 e outono/2015.

Continua

N	Família / Espécie	Classificação fotossintética	Ocorrência primavera			Ocorrência outono		
			Heliofilas/ Umbrofila	Cc	Co	Cs	Cc	Co
Apiaceae								
1	<i>Bowlesia incana</i>	U	x	x	x	x		
2	<i>Cyclospermum leptophyllum</i>	U	x					
Araliaceae								
3	<i>Hydrocotyle leucocephala</i>	U			x			x
Asteraceae								
4	<i>Bidens pilosa</i>	H	x	x	x	x		
5	<i>Blainvillea sp.</i>	H		x				
6	<i>Conyza sp.</i>	H	x	x	x	x		
7	<i>Jaegeria hirta</i>	H		x	x		x	x
8	<i>Sonchus oleraceus</i>	H	x			x	x	
9	<i>Synedrella sp.</i>	H		x			x	x
10	<i>Vernonanthura ferruginea</i>	H		x	x		x	x
11	NI			x	x			x
Begoniaceae								
12	<i>Begonia spp.</i>	U	x			x		
Bignoniaceae								
13	<i>Macfadyena unguis-cati</i>	U		x	x		x	x
Brassicaceae								
14	<i>Raphanus sativus</i>	U	x			x		x
Caryophyllaceae								
15	<i>Stellaria sp.</i>	U	x	x	x			
Commelinaceae								
16	<i>Commelia benghalensis</i>	U		x	x		x	x
17	<i>Commelia spp.</i>	U		x	x			x
18	<i>Tradescantia zebrina</i>	U		x	x			x
Convolvulaceae								
19	<i>Ipomoea aristolochiaefolia</i>	H		x				
20	<i>Ipomoea nil</i>	H		x			x	
Cyperaceae								
21	<i>Cyperus rotundus</i>	H	x	x	x		x	x
22	<i>Kyllinga sp.</i>	H			x			
23	<i>Pycneus sp.</i>	H			x			
Euphorbiaceae								
24	<i>Acalypha reptans</i>	H			x			x
Fabaceae								
25	<i>Desmodium sp.</i>	H			x			x
26	<i>Estizolobium sp.</i>	H			x			x

27	<i>Vicia villosa</i>	H		x	x			
Lamiaceae								
28	<i>Hyptis sp.</i>	H						x
Malvaceae								
29	<i>Sida sp.</i>	H				x		x
30	NI	H		x	x			
Myrsinaceae								
31	<i>Anagallis sp.</i>					x		
Oxalidaceae								
	<i>Oxalis atropurpurea</i>	H						
32	<i>Regnellii</i>			x		x	x	
33	<i>Oxalis floribunda</i>	H						
34	<i>Oxalis perdicaria</i>	H				x		x
Phyllanthaceae								
35	<i>Phyllanthus sp.</i>	H		x				
Plantaginaceae								
36	<i>Plantago tomentosa</i>	H		x	x		x	
Poaceae								
37	<i>Bromus sp.</i>	H		x				
38	<i>Cenchrus echinatus</i>	H						x
39	<i>Cynodon dactylon</i>	H			x	x		x
40	<i>Digitaria horizontalis</i>	H			x	x	x	x
41	<i>Digitaria spp.</i>	H			x	x	x	x
42	<i>Lolium multiflorum</i>	H		x	x	x	x	
43	<i>Panicum sp.</i>	H/U			x	x		
44	<i>Paspalum notatum</i>	H/U			x	x		x
Polygonaceae								
45	<i>Rumex sp.</i>	H		x				
Solanaceae								
46	<i>Solanum mauritianum</i>	H			x	x		x
Talinaceae								
47	<i>Talinum paniculatum</i>	H			x	x	x	x
Urticaceae								
48	NI	H				x		x

conclusão

Fonte:

Cc-citros em cultivo convencional; Cs-citros em cultivo agroflorestal; Co-citros em cultivo orgânico. NI: não identificada até nível de espécie.

4. DISCUSSÃO

4.1 PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO

O equilíbrio químico que há no solo é um processo controlado predominantemente pela concentração e composição da fase sólida do solo, aeração e pH (STOCKDALE et al., 2002). O pH alto encontrado nas áreas de manejo biodinâmico (Co e Cs) mostra um efeito acumulado da utilização de compostagem e seu efeito na acidez pela matéria orgânica do solo. Um fenômeno importante que pode ter colaborado para a diminuição da acidez é a possível formação de complexos estáveis na matéria orgânica aplicada (STEVENSON, 1982).

Solos com manejo orgânico da adubação inicialmente possuem pH inferior a sistemas com uso de fertilizantes sintéticos, mas a médio prazo o pH atinge níveis maiores e mais estáveis. Apesar do pH diminuir com a mineralização do N orgânico (BEVACQUA; MELLANO, 1994; SIKORA; YAKOVCHENKO, 1996), tipicamente há aumento do pH em solos ácidos pela complexação de Al e aumento da saturação por bases (SHIRALIPOUR et al., 1992; VAN DEN BERGHE; HUE, 1999; BULLUCK III et al., 2002).

Muitas pesquisas mostram o aumento da concentração da MOS na superfície do solo em sistemas orgânicos comparados a manejos convencionais em diferentes condições climáticas (DRINKWATER et al., 1998; BULLUCK et al., 2002; EDMEADES, 2003; HONDEBRINK et al., 2017; MARRIOTT; WANDER, 2006). Os sistemas de manejo orgânico do solo apresentam vantagens diante do aumento da matéria orgânica do solo (HONDEBRINK et al., 2017). Efeito evidente e conjunto também foi o teor de matéria orgânica no sistema agroflorestal Cs seguido do Co, mostrando assim a diferença que há em ter um componente florestal consorciado com os cultivos. Lima et al. (2011) discutem que o aumento dos estoques de COT nos sistemas agroflorestais está relacionado a melhoria da qualidade do solo, proporcionado pelo manejo agroflorestal, por meio das interações entre os componentes florestal e agrícola que resultam no maior aporte de fitomassa no solo.

Em sistemas em que há quantidades significativas de serrapilheira em superfície, as bases trocáveis contidas na matéria orgânica e nos resíduos orgânicos da mesma são liberadas e aumentam a ciclagem e disponibilidade de nutrientes (MENDONÇA et al., 2001; TOLEDO et al., 2002, BALIEIRO et al., 2004). Nesse sentido, também, a presença de espécies sombreadoras implica em maior proteção do solo contra erosão (SCHUMACHER et al., 2004), menor exposição do solo à radiação solar e diminuição da oscilação da temperatura do solo (RODRIGUES et al., 2010) e maior presença de raízes que, por sua vez, reduzem as perdas de nutrientes (MUÑOZ; ALVARADO, 1997) e aumentam a atividade biológica do solo, favorecendo as relações solo-planta e a fixação biológica de N₂ (BEER, 1988).

4.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

As diferenças existentes entre os valores de Ds nas áreas podem ser resultado do efeito que o manejo provoca nos teores e qualidade da MO do solo, uma vez que a diminuição no teor de MO tende a elevar a Ds (MARCOLIN, 2006; SILVA et al., 2011) e reduzir a estabilidade da estrutura do solo (TORMENA et al., 2004).

Os sistemas perenes consorciados com árvores apresentam menores valores de densidade do solo, indicando o potencial de sistemas arborizados ou agroflorestais em melhorar as condições físicas dos solos, observado pela redução da Ds. Aguiar (2008), Carvalho et al. (2004), Pilon et al., (2013) e Mendonça et al. (2010) obtiveram menores valores de Ds em solos sob sistemas agroflorestais.

A maior atividade biológica no solo sob agrofloresta foram obtidos em pesquisas de Carvalho et al. (2004) e Freitas et al. (2012), e atribuíram a esse fator a condição de redução da Ds. A atividade biológica de fungos e bactérias tem influência direta na agregação do solo (TISDALL; OADES, 1979), reduzindo a Ds.

Segundo Campos et al. (1999) e Wendling et al. (2005), solos com uma boa cobertura impedem ou diminuem a ação direta das gotas de chuva, mantêm mais uniforme a umidade e a temperatura, favorecem o desenvolvimento do sistema radicular e atividade microbiana e contribuem para a criação de um ambiente mais favorável à agregação, proporcionando, assim, aumento no sistema poroso e redução da Ds nesse sistema.

O solo da presente pesquisa apresentou baixos teores de argila, com valores médios de 10% de argila, e se enquadra, assim, em uma classe de solo com baixa estabilidade dos agregados. A argila é um dos principais agentes cimentantes na agregação do solo em sistemas tropicais e altos teores de argila contribuem para maior acúmulo de carbono orgânico, uma vez que nessas condições, há maior proteção da matéria orgânica (MO) do solo (BAYER; MIELNICZUK, 1999).

A agregação do solo e a MOS são propriedades dinâmicas e refletem rapidamente o efeito do uso e manejo da terra (GÜMÜS; ŞEKER, 2015). Um dos fatores que pode ter diferenciado os cultivos consorciados são as raízes das espécies arbóreas em consórcio do Cs e pela vegetação herbácea nas áreas de Co em maior vigor e diversidade. As raízes estimulam a agregação do solo, tanto pela promoção da população microbiana na rizosfera quanto pelo suprimento de resíduos orgânicos (SILVA; MIELNICZUK, 1997), como pela promoção à

reorientação e aproximação dos microagregados pela sua expansão e remoção de água, fazendo com que ocorra coesão entre as partículas do solo (PALMEIRA et al., 1999).

4.3 PROPRIEDADES BIOLÓGICAS DO SOLO

A atividade da fauna do solo medida com o método lâmina Bait permite determinar a velocidade do processo de decomposição da matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes por diversos microorganismos (LAVELLE 1996; HÄTTENSCHWHILLER et al. 2005), principalmente fungos, ácaros, nematódeos e anelídeos, estes últimos, conhecidos por serem altamente correlacionados com o desaparecimento do material nutritivo nas lâminas (Van GESTEL et al., 2003; FÖRSTER et al., 2004).

Nas áreas florestais, a atividade alimentar em profundidade foi superior a todos os sistemas agrícolas. Em geral as florestas possuem grande abundância e diversidade favorecendo o efeito de maior atividade em profundidade. fenômeno este encontrado por Podgaiski (2011). Gestel et al. (2003) e Förster et al. (2004) acrescentam que a lâmina Bait mede a atividade alimentar de diversos grupos da fauna do solo (principalmente fungos, ácaros, nematoides e anelídeos), mas os mais ativos são os anelídeos, com florestas nativas possuindo mais biodiversidade de minhocas que sistemas agrícolas (FRAGOSO et al., 2006).

O consumo alimentar do método mostra um gradiente de profundidade, revelando alto consumo na superfície, mostrando que a atividade detritívora ocorre nessa camada, associada à produção e decomposição da matéria orgânica senescente (COLEMAN et al., 2004). Esse gradiente é dependente também de condições climáticas, perfil do solo e grupos da fauna do solo (GONGALSKY et al., 2004), último fator discutido anteriormente.

Dentre as áreas florestais, observa-se menor efeito gradiente na floresta F200 que na F40. O estágio clímax superior da F200 reflete-se também no solo, como um estado estável. O método é promissor e permite acessar o status da atividade de invertebrados no solo como um indicativo das taxas de decomposição da matéria orgânica (KRATZ, 1998).

A determinação da hidrólise de FDA é sugerida como indicador geral da atividade hidrolítica, para quantificar amplo espectro de células ativas nos solos e para caracterizar a atividade microbiana global do solo (BANDICK; DICK, 1999; PERUCCI et al., 1999; GREEN et al., 2006). Teores mais altos de enzimas são encontrados em ambientes florestais, por apresentarem alta atividade heterotrófica, pela grande deposição de material orgânico no solo (CARVALHO, 2005). Com relação às áreas de cultivo, efeito semelhante ao florestal ocorreu na primeira camada do solo nas áreas de citros orgânico e agroflorestal, devido à aplicação

constante de compostagem em ambas as áreas e ,na segunda, somado ao aporte de material das árvores do sistema.

A FDA em sistemas agrícolas possui comportamento típico. Trannin et al. (2007) discutem que, em geral, quando ocorre algum tipo de manejo, como adição de fertilizante orgânico ou prática agrícola, há aumento do substrato e reflete no aumento da biomassa microbiana do solo. Wardle (1994), complementa o comportamento, que em solos degradados tendem a responder mais lentamente a adição de matéria orgânica no solo do que solos pouco perturbados. Petry et al. (2012) desenvolveram pesquisa em áreas adjacentes na mesma localidade, e as áreas convencionais não diferiram das orgânicas. Tal fato pode remeter ao período do ano, que foram distintas, diante da possibilidade de oscilação da atividade biológica. Em determinado momento, altos teores foram notados pela Cc seguido com um típico gráfico gerado pelo método da Lâmina Bait, provavelmente pelo comportamento estressado da fauna do solo, pelo manejo convencional do pomar.

A variação temporal da atividade enzimática global observada por Silva et al. (2004) e Bandick e Dick (1999) em sistemas florestais mostra-se estável. Deng e Tabatabai (1997) demonstram que a estabilidade de enzimas nos sistemas ocorre pela formação de complexos enzimas-compostos húmicos, fazendo com que se forme uma proteção contra enzimas proteolíticas que eventualmente degradam enzimas específicas. Espera-se que esse fenômeno ocorra também nos sistemas de cultivo orgânico.

A biota do solo é um fator preponderante em sistemas sombreados, pois os atributos biológicos são influenciados por fatores como temperatura e umidade (BERG, 2000; CATTELAN & VIDOR, 1990), pelo aporte e qualidade do resíduo orgânico depositado na superfície do solo (FONSECA et al., 2007).

4.4 VEGETAÇÃO HERBÁCEA EM CULTIVOS DE CITROS

As plantas espontâneas ao serem manejadas nas lavouras proporcionam benefícios, como ciclagem de nutrientes, incorporação de nutrientes e proteção do solo contra a erosão (MEDA et al., 2002). Entretanto, podem competir com as espécies econômicas por recursos naturais água, luz e nutrientes pela fisiologia da planta agrícola, por meio da competição direta, ou por liberação de substâncias alelopáticas negativas (MOYER-HENRY et al., 2006; KONG et al., 2007; PRIMAVESI, 2017), prejudicando o desenvolvimento das culturas (RONCHI; SILVA, 2006).

No início da regeneração natural, flutuações na diversidade são comuns, havendo efeitos da dominância de gramíneas (BAZZAZ, 1979), sendo que estas plantas contribuem para o valor de diversidade da família encontrado nas áreas Co e Cs, nesse caso a família *Poaceae* e *Asteraceae*. As plantas espontâneas aumentam a diversidade do agroecossistema (SCHERER; DEIL, 1997). Foi constatado que em terras manejadas ecologicamente a diversidade está 25 a 600% maior do que manejo convencional. Conseqüentemente, no campo dos agricultores agroecológicos, eleva-se também a diversidade e o número de microrganismos e a fauna no solo, aumentando a mobilização de nutrientes e a produtividade dos solos (PRIMAVESI, 2017).

As famílias *fabaceae* e *commelinaceae*, encontradas apenas nas áreas Co e Cs, apresentam espécies tolerantes a sombra e típicas no interior ou bordas florestais entre as gramíneas (mais intensas) (MÜLLER; WAECHTER, 2001; ZÁCHIA, 2006). O agricultor com sua experiência e o relato observado, apresentado nos resultados desse capítulo, mostra o benefício para os citros. Rowe e Werner (2000), acrescentam que não existe uma planta ideal para cobertura do solo, de preferência que apresentem características positivas e que por consqüência beneficiarão. A própria composição de nutrientes no tecido vegetal, reciclado do perfil do solo, além daqueles fixados da atmosfera, pode oferecer uma boa contribuição para o sistema (COSTA, 1993).

O agricultor que desenvolve o manejo biodinâmico nas lavouras Co e Cs afirma que a única planta que é danosa ao cultivo comercial é a *Macfadyena unguis-cati*, uma espécie trepadeira e que compete com as plantas de citros.

Os pomares estudados possuem um manejo de plantas espontâneas intenso de acordo com relato dos agricultores de cada sítio. De um lado manejo agroecológico com roçadas e do outro com adubo verde e herbicidas. O levantamento realizado reflete bem cada um. Melhores indicadores de diversidade herbácea ocorreram nas áreas sob manejo agroflorestal biodinâmico.

Para Durigan (1988), o número de espécies, bem como a densidade é um indicador da adaptação e da capacidade competitiva que essas espécies podem exercer sobre o pomar: algumas podem estar mais adaptadas a ambientes sombreados em pomares adultos ou agroflorestais, ou então a pleno sol como pomares jovens ou de manejo de dossel do cultivo mais ralo.

De maneira geral, o manejo da vegetação influi nas características físicas, químicas e biológicas do solo. Serão o tipo, a forma e o momento do manejo que irão proporcionar respostas positivas ou não no sistema (DURIGAN; TIMOSSI, 2002).

As áreas consorciadas, por estarem num estágio sucessional superior, podem ser influenciadas pela área de vegetação natural próxima ou intrínseca, de acordo com a teoria de biogeografia de ilhas (MCARTHUR; WILSON, 1967). Essa teoria estabelece que a diversidade das espécies numa determinada localidade está associada ao tamanho da área e à distância das fontes de colonização (ALMEIDA, 2009). A contribuição das áreas naturais fica evidente quando são analisados os valores obtidos para o índice de Margelf.

5 CONCLUSÃO

O objetivo da pesquisa foi encontrar diferenças nos parâmetros de qualidade para solo em diferentes períodos ao longo do ano, numa condição típica na região do Vale do Caí. Práticas de manejo biodinâmico foram mais benéficas ao sistema que o manejo convencional, com melhoria no seguintes parâmetros químicos (acidez, fósforo, CTC, COT), físicos (densidade do solo e porosidade-PT, macro e micro) e biológicos em alguns períodos (FDA). O manejo agroflorestal foi ainda superior em benefícios, com melhores níveis de pH e estrutura com microporos e melhor comportamento alimentar da fauna do solo, comparado às demais áreas.

Muitos parâmetros avaliados ao longo dos períodos não demonstraram variação sazonal. As variações mais evidentes foram para o pH, COS em superfície, atividade enzimática global e atividade alimentar da fauna do solo.

Os pomares biodinâmicos Cs e Co apresentaram maior riqueza e abundância de espécies herbáceas espontâneas. O estudo permitiu inferir que o manejo orgânico favorece uma cobertura oportuna de múltiplos benefícios, e a presença das famílias Commoliaceae e Fabaceae beneficiam como adubo verde e seus efeitos de alto valor ecossistêmico.

CAPITULO II ANÁLISES INTEGRADAS EM AGROECOSSISTEMAS: CROMATOGRAFIA DE PFEIFFER E APROXIMAÇÃO À TEORIA DE GRAFOS

RESUMO

A busca por padrões que representam um ecossistema é uma ação antiga, com o fim de compreender relações, processos e fenômenos intrínsecos. Neste capítulo, a abordagem será desenvolvida com base em ferramentas que integram um agroecossistema, seja no sistema solo, ou relação solo e cobertura. Foram usadas técnicas que integram o agroecossistema de maneira sistêmica, em duas partes distintas em seu princípio e uso: na primeira parte referente a cromatografia circular de Pfeiffer (CCP) e na segunda parte abordagem matemática no estudo multivariado (análise de componentes principais) até a teoria de grafos. O trabalho foi conduzido numa área que envolve três propriedades agrícolas no município de Montenegro, região do Vale do Caí/RS, em cinco áreas de estudo: citros em sistema convencional (Cc), citros sistema orgânico/biodinâmico (Co), citros sistema agroflorestal/biodinâmico (Cs) e duas áreas florestais, uma com 40 (F40) e outra com 200 anos (F200). As propriedades químicas, físicas e biológicas do solo foram selecionadas com base no capítulo I e a CCP avaliada em três camadas (0-0,05, 0,05-0,20 e 0,20-0,40 cm), em dois períodos, primavera e outono. O uso da cromatografia de Pfeiffer permitiu caracterizar e propor uma compreensão distinta dos agroecossistemas frente aos métodos clássicos de análise do solo. Foram testados parâmetros computacionais afim de informatizar a técnica. No entanto, parâmetros visuais de análise seguem como mais eficientes. Os agroecossistemas com a análise de componentes proporcionou melhor compreensão dos sistemas. Cs e Co puderam ser observados como semelhantes e distintos do Cc nos dois períodos observados. A teoria de grafos foi discutida com base no arranjo estrutural das variáveis dentro de um agroecossistema, afim de integrar variáveis do solo e cobertura, com possibilidades promissoras de inclusão de serviços ecossistêmicos como fatores em estudo.

Palavra – chave: Padrões. Análise sistêmica. Sistema solo.

1. INTRODUÇÃO

Para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável, é necessária análise das interações que emergem associadas à complexidade das redes ecológicas intrínsecas. Isso é muito mais que apenas o somatório das partes individuais (COHEN et al., 2009).

As redes de interação em agroecossistemas são negligenciadas, o que se reflete na sustentação de visão artificial desses sistemas e, na maioria dos casos, resultados de pesquisa deixam uma compreensão ecológica genérica (POCOCK et al., 2012). Tais redes que envolvem o solo e sua respectiva cobertura precisam ser estruturadas para entendimento integral (MULDER et al., 2013).

A estimativa de valores econômicos provenientes de serviços ecossistêmicos advindos da biodiversidade é alta, e a maioria desses provém das interações de redes ecológicas das espécies envolvidas num sistema. Dentre esses benefícios estão a polinização, o controle de pragas e doenças e a ciclagem de nutrientes (ZHANG et al., 2007).

A análise integrada de um agroecossistema pressupõe o uso de ferramentas que permitem operar um conjunto numa esfera integrada. Dessa forma, a análise multivariada é um ramo viável em sua aplicação. Quando se admite sistemas que compõem uma complexidade e que representam um conjunto que possui interação biológica ou física, estrutura-se uma rede. Assim, ferramentas mais avançadas são oportunas e necessárias para obter informações que suprem as hipóteses inerentes à situação.

O reconhecimento de padrões e contagem de conjunto de espécies (variáveis) é uma antiga busca na ecologia. Há muitas maneiras de medir e apresentar dados para condensar informação numa rede de grafo (COSTA et al., 2007). Muitos dessas medições que resultam nos grafos são aplicáveis na agroecologia.

Neste trabalho procuramos fazer uma abordagem sobre os conceitos de grafos, suas possibilidades de uso em agroecossistemas, estabelecer relação entre as variáveis estudadas através da modelagem e simulação dos principais resultados encontrados, com objetivo de aprofundar a análise dos sistemas estudados.

A cromatografia circular ou Cromatografia circular de Pfeiffer-CCP foi desenvolvida para analisar a qualidade de solos, compostagens e cultivos (PFEIFFER, 1984). Os estudos científicos de Pfeiffer proporcionaram um método distinto de fácil execução, baixo custo e alta sensibilidade às características e processos edáficos, empregável pelos próprios agricultores e técnicos, especialmente os que trabalham em sistemas agroecológicos.

A análise integra propriedades físicas, químicas e biológicas, aumentando assim o nível de informação das propriedades do solo e resultando na qualidade do mesmo (PFEIFFER, 1984). O grande esforço de Pfeiffer foi desenvolver um método capaz de compreender processos biológicos, essenciais para manejar sistemas agroecológicos. A CCP oferece a possibilidade para agricultores aprenderem mais sobre os processos biológicos em seus campos de cultivo e compostagem. A imagem representa, com o movimento e os padrões da

cromatografia, relação com a vida que há no sistema e permite observar o que precisa ser feito (FOLLADOR, 2015).

A CCP junto com a Dinamólise Capilar (originalmente *Capillary Dynamolysis*) forma o único grupo de análises cromatográficas, cujo objetivo não é a separação das substâncias mas usar as características dos padrões formados no processo cromatográfico para indicar a qualidade da amostra (KOLISKO; KOLISKO, 1978; ZALECKA, 2006; ZALECKA et al., 2010; KOKORNACZYK et al., 2016).

Há estudos experimentais com uso da técnica de CCP para análise de qualidade de solo em agroecossistemas (GRANSTEDT; KJELLENBERG, 2011; KOKORNACZYK et al., 2016; PEMURAL; VATSALA, 2002; FOLLADOR, 2015) e adubos de base orgânica, compostagem e biofertilizantes (LÜBKE, 2008; FOLLADOR, 2015), principalmente. Restrepo e Pinheiro (2011) dão suporte da aplicação da técnica em materiais vegetais como frutas, folhagens, cereais, entre outros. Atualmente pelos esforços de Rivera e Pinheiro (2011), o método ganha popularidade e fortalece principalmente agricultores familiares e camponeses que trabalham com agricultura orgânica e agroecologia.

No presente estudo, a CCP foi aplicada em solo cultivado com citros em sistema biodinâmico, agroflorestal e convencional. O objetivo foi além de aprimorar o método, verificar padrões da CCP e correlacionar com propriedades do solo (químicas, físicas e biológicas), afim de apresentar um método oportuno e diferenciado.

Reconhecer e conectar agroecossistemas a partir de suas partes e conteúdos naturais, intensifica o entendimento ecológico, e promove habilidades para o desenvolvimento de sistemas agrícolas com melhores condições às necessidades essenciais humanas.

O objetivo deste trabalho foi (i) contribuir para a compreensão da estrutura de um agroecossistema como ferramenta eficiente, com a avaliação de cenários e situações de interação entre variáveis do solo e de sua respectiva cobertura vegetal, e assim, detectar padrões ligados a processos ecológicos em seu estado de conservação; (ii) estender essa abordagem com ampla possibilidade de interação em distintos agroecossistemas e suas variáveis, para detectar um padrão de complexidade em conjuntos de dados que envolvem agroecossistemas; e (iii) avaliar se as configurações dos processos envolvidos permitem inferir sobre práticas de manejo e sistemas de cultivo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo estão apresentadas duas técnicas com princípios e aplicações distintas. A primeira a ser abordada será a Cromatografia circular de Pfeiffer, como princípio um método analítico de análise de solo e com possibilidades de uso para analisar outras substâncias como citado anteriormente. Numa segunda parte da abordagem em integração serão usadas ferramentas matemáticas afim de relacionar propriedades do solo e da cobertura adjacente, para isso foi aplicada a análise multivariada e discutida a teoria de grafos e suas possibilidades de uso em agroecossistemas.

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi conduzido no município de Montenegro, região fisiográfica da Depressão Central, RS (29°41'20''S e 51°27'39''W). De acordo com a classificação de Köppen (1948), o clima da região é Cfa – subtropical úmido de verão quente. Os meses mais quentes são janeiro e fevereiro, com temperatura média próxima de 25 °C e os meses mais frios são junho e julho, com temperatura média de 9 °C. A precipitação média anual é de 1.440 mm (BERGAMASCHI; GUADAGNIN, 1990; BERGAMASCHI et al., 2003).

O solo da região foi classificado como ARGISSOLO Vermelho-Amarelo Distrófico arênico (PVAd) (EMBRAPA, 2006; STRECK et al., 2008), pertencente à unidade de mapeamento Bom Retiro (BRASIL, 1973). É um solo oriundo de arenito (Formação Botucatu), ocupando um relevo ondulado a forte ondulado, com vegetação original da região composta predominantemente por Mata Atlântica e Pampa (PIETRZACKA, 2009). Foi realizado também uma classificação de solo na área de estudo, de acordo com o tipo de solo recorrente na localidade, com mais detalhes no Apêndice A.

Localizado em três propriedades rurais distintas, o experimento foi conduzido em cinco áreas descritas como: (1) citros em sistema convencional (Cc; 1,12 ha); (2) citros orgânico em sistema de agricultura biodinâmica (Co; 1,17 ha); (3) citros em sistema agroflorestal biodinâmico (Cs; 1,16 ha); floresta nativa (Mata Atlântica) com aproximadamente 40 anos de regeneração (F40; 0,37 ha); (5) floresta nativa com aproximadamente 200 anos de regeneração (F200; 2,1 ha), (Figura 2, Capítulo 1).

2.2 HISTÓRICO DAS ÁREAS

O sistema orgânico (Co) foi iniciado no ano de 1998 com plantio de bergamotas variedade Montenegrina. Nesse ano o agricultor começou a manejar as lavouras em sistema

orgânico, sendo os principais manejos as aplicações de compostagem provenientes da Ecocitros (Cooperativa dos Citricultores do Vale do Caí) e a manutenção e manejo das plantas espontâneas pelo método de roçadas nas entrelinhas e na projeção da copa das plantas. A conversão do sistema orgânico para o biodinâmico foi realizada no ano de 2009.

O sistema de cultivo agroflorestal (Cs), inicialmente com manejo igual ao da área anterior por pertencer ao mesmo sítio, no entanto no ano de 1999 o manejo agroflorestal começou a ser desenvolvido em 1999. Foram incluídas espécies nativas florestais e algumas exóticas, identificadas com o auxílio do agricultor e da engenheira florestal Cristina Redin: Açoita-Cavalo (*Luehea grandiflora* Mart. & Zucc), Acácia Negra (*Acacia mearnsi* De Wild), Angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan), Araucária (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze), Butiá (*Butia eriospatha* (Mart. Ex Drude) Becc.), Cabreúva (*Myroxylon peruiferum* L. f.), Canafístula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.), Canela (*Cinnamomum zeylanicum* Blume), Canjerana (*Cabralea canjerana* (Vell.) Mart.), Cedro rosa (*Cedrela odorata* L.), Cinamomo (*Melia azedarach* L.), Ipê roxo (*Handroanthus impetiginosus* Mart. ex DC.), Jacarandá-mimoso (*Jacaranda mimosifolia*, D. Don), Jerivá (*Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Glassman), Louro-pardo (*Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud.), Mamica de cadela (*Zanthoxylum rhoifolium* Lam.) e Timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong.). Essas árvores foram plantadas na linha das bergamoteiras em espaçamento médio de 15 m, pois não seguem um padrão de distâncias entre árvores, obedecendo a sua estrutura de dossel.

O sistema de cultivo convencional (Cc) foi instalado há aproximadamente 25 anos (1990), com preparo convencional do solo, com utilização de arado e grade para mobilização do solo para o plantio manual de mudas de bergamoteiras (*Citrus deliciosa* Tenore), da variedade Montenegrina, Okitsu, Morgote e Caí, enxertadas sobre *Poncirus trifoliata* L.. As plantas foram alocadas num espaçamento de 3 m entre plantas na linha e 6,5 m nas entrelinhas. Com uso intensivo de fertilizantes minerais, herbicidas em área total duas vezes ao ano, na primavera e no verão, e produtos fitossanitários.

2.3 PLANO DE AMOSTRAGEM

Amostras de solo foram coletadas ao longo de quatro períodos: período 1 (primavera de 2014), período 2 (verão de 2015), período 3 (inverno/primavera de 2015), período 4 (primavera/verão de 2015, nas cinco áreas experimentais: citros convencional (Cc), citros

biodinâmico (Co), citros agroflorestal (Cs), floresta regeneração 40 anos (F40) e floresta regeneração 200 anos (F200).

O objetivo inicial da pesquisa foi realizar as coletas estrategicamente no período de outono, inverno, primavera e verão, para compreensão da dinâmica dos sistemas ao longo de um ano; no entanto, ao longo do período amostral houve momentos que impediram o desenvolvimento sequencial da pesquisa, não sendo possível realizar as amostragens nos momentos exatos.

Para cada área do experimento foi realizado um levantamento por amostragem sistemática em um grid de espaçamento regular de 3600 m² (30 x 34 m). Os pontos foram os vértices do grid, 15 m entre ponto e 17 m entre linha no grid, totalizando 9 pontos georeferenciados em cinco áreas (Figura 3, Capítulo 1).

Nos respectivos pontos do grid foram coletadas amostras compostas de solo nas camadas 0-0,05; 0,05-0,20; e 0,20-0,40 m, totalizando 135 amostras por período estacional.

2.1. DETERMINAÇÕES EXPERIMENTAIS

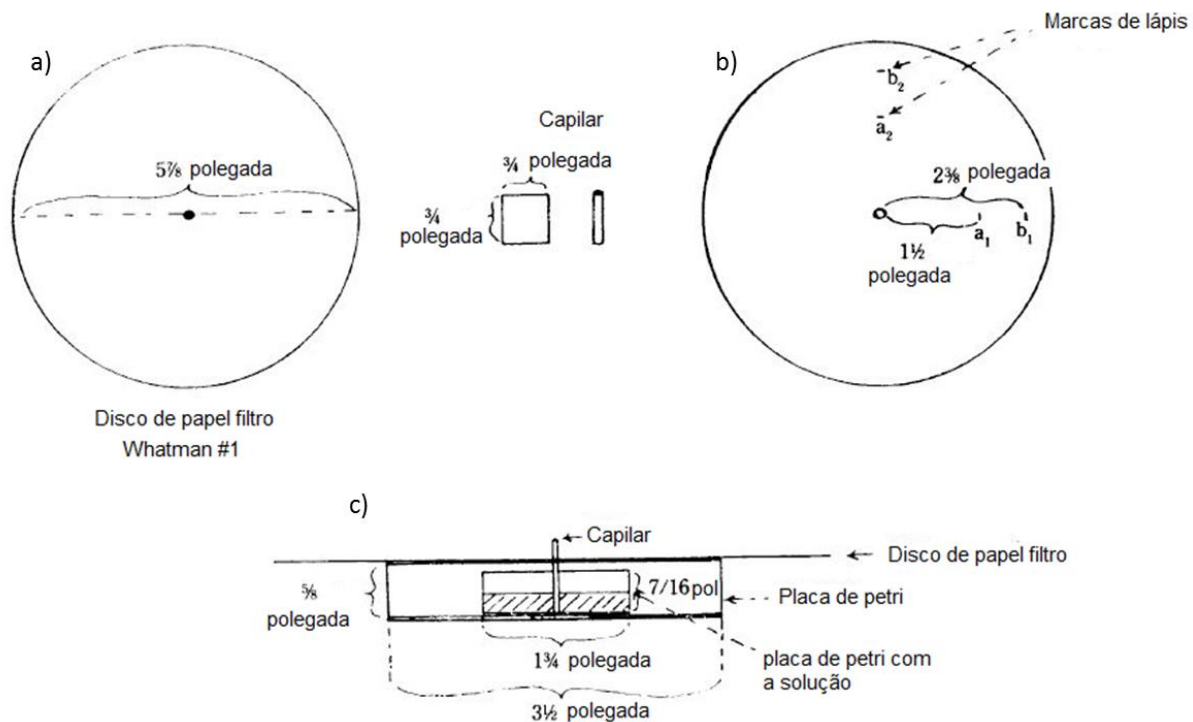
2.2.1 Cromatografia sensível de Pfeiffer

Pelo método sensível, diferentes frações do extrato do solo são separados pela capilaridade em papel filtro apropriado. O papel filtro é preparado com substância foto-reativa (AgNO₃) que reage com as substâncias extraídas do solo através de uma solução alcalina (NaOH). A precipitação dessa reação ocorre a várias distâncias do ponto de aplicação (centro do papel). A distância, o padrão, a cor e a forma de reação na área são significativamente utilizados na interpretação das substâncias contidas no extrato e conseqüente no solo (PFEIFFER, 1984).

Os passos para preparo de acordo com Pfeiffer (1984) e adaptação de Rivera e Pinheiro (2011) foram:

- a) Utilizou-se um papel filtro circular de 15 cm de diâmetro, modelo Whatman n^o4, com um furo de 2 mm no centro, no qual foi colocado um capilar do mesmo papel filtro. Com um lápis, a partir do centro do círculo, foi marcado um ponto a 4 cm e a 6 cm, como mostra figura 16.

Figura 16 – Detalhes do preparo do papel filtro e do capilar necessários para realização da análise.



Fonte: Adaptado de Pfeiffer, 1984.

- b) Com uma solução de AgNO_3 (0,5%), foi feita a impregnação no papel até a marca de 4 cm, realizado numa sala escura sob luz vermelha para não haver fotodegradação. Por capilaridade, o AgNO_3 untou o papel com auxílio de placas de Petri conforme mostrado na figura 16c. Após esse processo, o papel impregnado foi guardado em caixa protegida da luz até secagem (3 a 5 horas).
- c) Na extração do solo, utilizaram-se 5 g de solo moído em peneiras de 0,25 mm, colocados em erlenmeyer de 150 mL, e adicionados 50 mL de solução de NaOH 1%. A agitação foi realizada com 49 giros em sentidos intercalados, foi repetida aos 15 minutos e por fim após uma hora. Após a agitação os erlenmeyers foram deixados em repouso por 6 horas.
- d) Após o repouso do solo (etapa “c”) e secagem do papel impregnado (etapa “b”), foram coletados entre 5 e 10 ml do sobrenadante e por capilaridade novamente, o extrato untou o papel filtro - previamente preparado com AgNO_3 - com auxílio de placas de Petri conforme mostrado na figura 16. A impregnação do extrato foi feita no escuro ou luz vermelha, enquanto que a secagem foi realizada em luz intensa. Os papéis foram expostos à luz difusa por 14 dias para a revelação e fixação das cores.

Após o período de revelação e fixação das cores em cada papel, a etapa foi de interpretação da imagem. Uma foto foi tirada com câmera digital, para manter a qualidade e intensidade das cores garantidas. A imagem foi submetida à análise de padrões visuais e numéricos.

A caracterização dos padrões visuais foi feita conforme a figura 17 e estabelecido um ranking visual e as medições foram: Rf (fator de retenção cromatográfico), espessura da zona e análise textural da imagem (parâmetro entropia).

O Rf é determinado pela seguinte forma:

$$Rf = (\text{distância percorrida por cada zona}) / (\text{raio do alcance máximo da imagem})$$

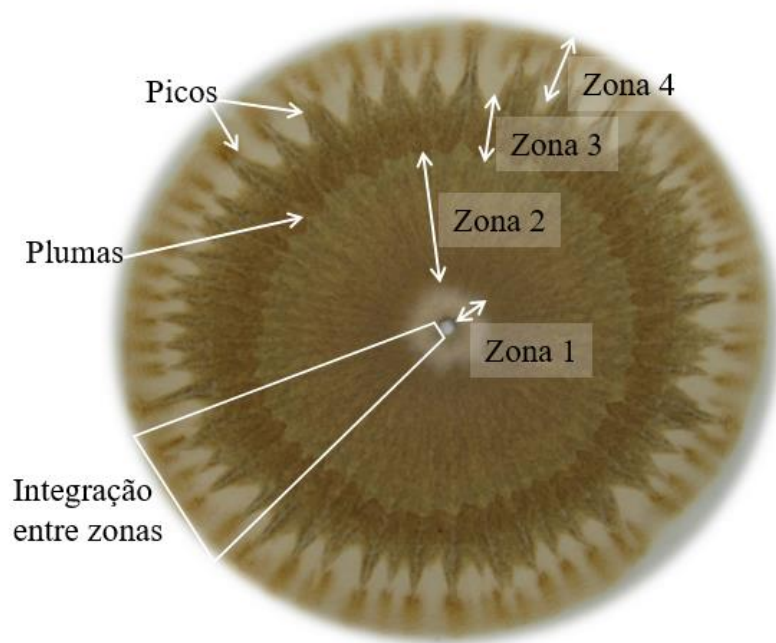
A entropia foi determinada por análise computadorizada, com o uso do software ImageJ, na zona 3, zona em que há mais formação das plumas e aparecem os picos.

Na análise visual foram estabelecidos escores de 1 a 5, em que valores próximos a 1 infere sobre padrões inferiores do solo e valores próximos a 5, padrões superiores do solo, conforme esquema de observação (Tabela 1). No apêndice B e C, estão as imagens das cromatografias de cada área e camada.

A base de padrões de imagens com cromatogramas e detalhamento de padrões e cores foram realizados de acordo com Pfeiffer (1984) e Rivera (2011).

É importante ressaltar que o tipo de solo e condição climática regional tem efeito direto nos tipos de padrões que formam a imagem, ocorrendo análises com cores e formas que, quando comparados à referência tradicional, significam condições inferiores, mas no campo podem representar um sistema equilibrado (PILON et al., 2014). Para tanto, é necessário obter referências de cada região de mesma condição e de preferência, um sistema nativo, como uma floresta.

Figura 17 - Exemplo de padrões de CCP, com a delimitação de zonas e características observadas para interpretação, acima. Abaixo da esquerda para direita: o aumento do desenvolvimento dos padrões, características radiais (plumas e picos), intensidade de cor, equilíbrio e integração entre zonas.



Fonte: Autor.

Tabela 10- Guia dos escores para análise e descrição visuais das características utilizados para CCP.

Características visuais de importância		Escore
1. Integração	2. Plumas	

Anéis, concêntricos marcados e homogêneos (ausência de integração)	Ausência ou pluma vestigial	1
Alguns anéis, integração abrupta	Apenas linhas radiais	2
Integração clara de padrões	Linhas radiais a plumas estreitas	3
Integração gradual	Linhas ou plumas radiais que cobrem todo croma	4
Integração difusa e padrões que entrelaçam	Plumas radiais proeminentes/espessas	5
Características visuais de importância		
3. Picos	4. Cor	Escore
Ausência de picos ligados à plumas	Homogêneas; escuro e preto; cores borradas, pouco intensas	1
Pontiagudos	Cinza a marrom	2
Pontiagudos com derivações	Bege	3
Alguns picos que se abrem no fim em manchas	Claro esbranquiçado	4
Picos que se abrem no fim totalmente em manchas	Amarelo, creme; intenso e heterogêneo	5

Fonte: Autor.

Todas as análises cromatográficas foram realizadas de acordo com as indicações originais segundo Pfeiffer (1984), Rivera e Pinheiro (2011), Follador (2015), Raul Lapis, Sandra Siviero e Norma Primer. Os três últimos são estudiosos e especialistas em agricultura biodinâmica e no método CCP com grande contribuição científica e aplicada.

2.2.2 Análise dos dados relacionados à Cromatografia Circular de Pfeiffer

As variáveis obtidas pela CCP foram submetidas ao teste de homogeneidade das variâncias Bartlett e teste de Shapiro Wilk para análise da normalidade, ambos com 95% probabilidade. Neste caso, os graus de liberdade de tratamentos podem ser decompostos através de comparações planejadas, contrastes ortogonais, de acordo com o interesse do pesquisador em testar efeitos dos agroecossistemas e áreas florestais.

Os parâmetros da CCP foram submetidos à análise de correlação de Spearman entre os próprios parâmetros e com as variáveis químicas (pH e carbono orgânico do solo-COT), físicas (teor de argila, silte e areia, densidade do solo, porosidade, estabilidade de agregados) e biológicas (atividade enzimática global e atividade alimentar da fauna do solo).

Os resultados foram submetidos à análise da variância e os contrastes comparados pelo teste F, 95% probabilidade, de acordo com Olszewski et al. (2004). Os graus de liberdade dos tratamentos foram desdobrados em contrastes ortogonais (Capítulo 1, tabela 1), para cada camada. As análises estatísticas foram realizadas no ambiente estatístico R (R CORE TEAM, 2017), com suporte do pacote “ExpDes.pt” (FERREIRA et al., 2013) e as linhas de comando utilizadas e estruturadas no software estão listadas no Apêndice D.

Nos resultados serão apresentados as médias das variáveis, em casos oportunos serão apresentados graficamente. Os dados apresentados são dos períodos 1 e 3, períodos que diferem em sazonalidade, primavera e outono, respectivamente.

2.2.3 Análise multivariada dos dados e Teoria de Grafos

Foram previamente selecionadas variáveis do solo e da cobertura vegetal herbácea das áreas, com base na sua importância intrínseca que represente a cobertura vegetal dos agroecossistemas em estudo e variáveis químicas, físicas e biológicas do solo. As propriedades do solo foram -químicas: pH e carbono orgânico total; físicas: densidade do solo, microporosidade e estabilidade de agregados; e biológicas: atividade enzimática global, atividade alimentar da fauna do solo, cromatografia de Pfeifer (enquadrada, nesse caso, como biológica); e as da cobertura vegetal foram: índice de Margalef, riqueza e ocorrência. As variáveis qualitativas foram transformadas em números e todas normalizadas com média 0 e variância 1.

Os dados foram submetidos ao teste Shapiro Wilk para análise da normalidade multivariada, ambos com 95% probabilidade.

A matriz de correlação dos mesmos foi realizada de forma a identificar variáveis que explicam a maior parte da variação contida nas áreas, e com essa foram realizadas duas etapas paralelas: a Análise de Componentes Principais (ACP) e cálculos algébricos e aplicação da teoria de grafos.

Todas as análises e estatísticas foram realizadas em ambiente estatístico R (R CORE TEAM, 2017), com suporte dos pacotes “mvtnorm” (GENZ et al., 2009; GENZ et al., 2017) e “vegan” (OKNASSEN et al., 2017), e as linhas de comando utilizadas e estruturadas no software estão listadas no Apêndice D.

Para a apresentação dos resultados da análise multivariada, optou-se pelo ordenamento das amostras (“Scores”) e das variáveis (“Loadings”) em tabela e, no gráfico da ACP, a contribuição de cada eixo, responsáveis pelos agrupamentos das amostras.

3. RESULTADOS

3.1 DESCRIÇÃO DE PADRÕES DA CCP

Todos os parâmetros obtidos no experimento consistem em quatro zonas, correspondentes a quatro anéis localizados ao redor do furo central (figura 18): zona central (Z1), uma pequena zona com cores de claras a escuras; zona média interna (Z2), região de tons beges a castanhos escuros; zona periférica (Z3), de cor em geral marrom e com os picos; e zona externa (Z4), de cores claras a cremes, com a finalização dos picos e a borda final de toda imagem.

A observação visual dos padrões mostra as principais diferenças contidas na presença de anéis e padrões radiais. Na figura 17, há uma evolução ou desenvolvimento em qualidade dos padrões nas imagens, desde anéis concêntricos delimitados com cores borradas até padrões radiais e cores mais intensas. Os padrões com fortes anéis aparentes localizados desde a Z1 até a Z4, mas a coloração aparece borrada com anéis que delimitam as zonas, com picos ausentes ou pontiagudos visíveis, encerram no fim com uma borda suave. Os padrões radiais diferenciam-se desse por ocorrerem marcados com intensidade, contém ao mesmo tempo as plumas mais evidentes, do centro ao fim com integração entre zonas e terminam com os picos, os quais se abrem e formam a última zona com uma borda ondulada. As cores aparecem também com forte intensidade. As características encontradas são apresentadas nas figuras 18 e 19.

Os parâmetros medidos pela CCP são: (a) fator de retenção cromatográfico R_f , obtido entre cada zona, tendo-se um valor que mede o avanço de uma zona anterior e que, por sua vez, divide da seguinte; (b) espessura de cada zona, um parâmetro mais simples obtido; e (c) análise textural de imagem (entropia), medido na zona 3, zona em que a CCP se apresenta com mais distinção entre pixels.

O R_f e a espessura de cada zona representam o equilíbrio entre essas e, conseqüentemente, em toda a análise que representa o solo no campo. O R_f obtido em condições ideais de propriedades de solo são valores próximo a $R_{fz1}=25$; $R_{fz2}=50$ e $R_{fz3}=75\%$. Isso representa um equilíbrio esperado entre as diferentes zonas dos cromatogramas de solo. No caso da espessura medida, o avanço do extrato obteve uma média de 12 cm radial; assim,

valores ideais de espessura de cada zona são próximos à quarta parte do total avançado, próximo a 3 cm. A variação desse conjunto obtida na pesquisa é vista nas tabelas 11, 12, 13 e 14.

Baseado nessas observações, os padrões da CCP foram avaliados, zonas distinguidas, escores desenvolvidos pelas características dos anéis ou padrões radiais (plumas, picos e integração), pela cor e intensidade.

Os valores de Rf_{z1} com maiores qualidades foram observados na superfície para os sistemas Co e Cs, junto com a floresta F200, com valores 13,5, 18,6 e 13,8%, respectivamente. Quando observados em conjunto (todos os Rf, ou seja, equilíbrio do solo), seguem o mesmo comportamento entre as áreas citadas anteriormente. Quando avaliados em profundidade, os Rf em melhor equilíbrio estão na F200, enquanto que os outros sistemas adquirem uma semelhança (Tabela 11). Em maior desproporção está, em geral, o Rf_{z1} , extremamente baixo, um comportamento de supressão, o que ocorre nos dois períodos. As espessuras das zonas são obtidas como descrito na metodologia, com a medição da respectiva largura da zona e, assim, pode-se observar individualmente cada uma. O Rf, discutido aqui, nesse sentido trata-se do limite avançado pela zona.

A entropia é um parâmetro que tem relação à deposição radial de sais que há no cromatograma. Essa ocorre com mais intensidade na zona 3, resultando em plumas e picos na imagem. As áreas de citricultura (Cc, Co e Cs) apresentam valores semelhantes e inferiores às F40 e F200, observado nos dois períodos. Quanto maior o valor da entropia, formações mais proeminentes de plumas ocorrem na imagem. Em profundidade, nota-se que as áreas florestais possuem valores superiores aos campos de cultivo nos dois períodos (tabelas 11 e 13). No presente estudo, a entropia apresentou valores muito próximos e pouco conclusivos com a técnica.

Tabela 11- Cromatografia circular de Pfeiffer: fatores de retenção cromatográfico (Rf) e análise textural de imagem (entropia), realizados no período 1.

Manejo	Rf_{z1}		Rf_{z2}		Rf_{z3}		Análise textural/ Entropia
	\bar{x} (%)	σ	\bar{x} (%)	σ	\bar{x} (%)	σ	\bar{x}
Camada 0-0,05							
Cc	8,7	0,4	55,3	7,8	81,5	2,3	5,97

Co	13,5	2,1	51,8	7,7	75,6	3,1	6,21
Cs	18,6	3,2	48,8	6,8	80,6	3,1	5,9
F40	11,6	2,2	50,9	3,9	78,4	2,9	5,98
F200	13,8	3,7	47,5	6,4	79,6	3,2	5,93
C1	ns		ns		ns		ns
C2	*		ns		ns		ns
C3	*		ns		ns		ns
C4	ns		ns		ns		ns
Camada 0,05 a 0,20							
Cc	6,3	1,6	57,8	8,1	85,8	3,2	5,91
Co	6,2	1,1	56,1	4,8	86,2	2,4	5,91
Cs	6,5	1,8	56,4	6,2	82,7	4,4	6,08
F40	6,8	1,4	55,0	4,5	83,4	3,4	6,2
F200	10,8	3,4	53,9	6,8	81,3	3,7	6,1
C1	*		ns		ns		*
C2	ns		ns		ns		ns
C3	ns		ns		ns		ns
C4	*		ns		ns		ns
Camada 0,20 a 0,40							
Cc	5,3	1,4	59,3	5,6	85,5	3,0	5,53
Co	4,4	0,9	58,5	7,7	87,7	3,2	5,73
Cs	3,5	0,7	61,1	4,0	88,1	3,9	5,68
F40	5,3	1,7	59,6	6,9	82,3	3,0	6,11
F200	8,4	3,7	54,3	5,8	82,8	5,1	6,17
C1	ns		ns		ns		*
C2	ns		ns		ns		*
C3	ns		ns		ns		ns
C4	*		ns		ns		ns

Fonte: Autor.

Cc-citros em cultivo convencional; Cs-citros em cultivo agroflorestal; Co-citros em cultivo orgânico; F40-floresta com 40 anos de regeneração; F200-floresta com 200 anos de regeneração. Contrastes ortogonais pelo teste F a 5%; C1 = Florestas vs. Citros; C2 = Co + Cs vs. Cc; C3 = Cs vs. Co; e C4= F200 vs. F40.

Tabela 12- Cromatografia circular de Pfeiffer: espessuras das zonas na CCP realizados no período 1.

Manejo	Esp Z1		Esp Z2		Esp Z3		Esp Z4	
	\bar{x} (cm)	σ	\bar{x} (cm)	σ	\bar{x} (cm)	σ	\bar{x} (cm)	σ
Camada 0-0,05								
Cc	2,23	0,38	3,62	1,07	3,82	0,75	2,33	0,37
Co	1,62	0,25	4,60	1,13	2,85	1,21	2,93	0,37

Cs	1,05	0,05	5,59	0,95	3,14	0,94	2,22	0,28
F40	1,40	0,27	4,71	0,48	3,30	0,56	2,59	0,35
F200	1,66	0,45	4,05	0,98	3,85	0,80	2,45	0,38
C1	ns		ns		ns		ns	
C2	ns		*		ns		ns	
C3	ns		*		*		ns	
C4	*		ns		*		ns	
Camada 0,05 a 0,20								
Cc	0,78	0,22	5,98	0,81	3,15	0,91	2,08	0,53
Co	0,74	0,13	5,99	0,58	3,60	0,87	1,66	0,29
Cs	0,75	0,19	6,19	1,02	3,36	1,00	1,70	0,39
F40	0,81	0,17	5,78	0,65	3,42	0,38	1,99	0,41
F200	1,29	0,41	5,17	0,81	3,29	0,64	2,25	0,44
C1	*		ns		ns		*	
C2	ns		ns		ns		ns	
C3	ns		ns		ns		ns	
C4	*		ns		ns		*	
Camada 0,20 a 0,40								
Cc	0,43	0,08	6,91	0,53	3,24	0,69	1,43	0,47
Co	0,52	0,11	6,49	0,98	3,50	0,95	1,48	0,39
Cs	0,64	0,16	6,48	0,73	3,15	0,89	1,74	0,36
F40	0,64	0,20	6,51	0,94	2,73	0,75	2,12	0,36
F200	1,00	0,45	5,52	0,95	3,42	0,47	2,06	0,61
C1	ns		ns		ns		*	
C2	*		ns		ns		ns	
C3	ns		ns		ns		*	
C4	*		ns		ns		ns	

Fonte: Autor.

Cc-citros em cultivo convencional; Cs-citros em cultivo agroflorestal; Co-citros em cultivo orgânico; F40-floresta com 40 anos de regeneração; F200-floresta com 200 anos de regeneração. Contrastes ortogonais pelo teste F a 5%; C1 = Florestas vs. Citros; C2 = Co + Cs vs. Cc; C3 = Cs vs. Co; e C4= F200 vs. F40.

Tabela 13- Cromatografia circular de Pfeiffer: fatores de retenção cromatográfico (Rf) e da análise textural de imagem (entropia), realizados no período 3.

Manejo	Rf _{z1}		Rf _{z2}		Rf _{z3}		Textura/ Entropia
	\bar{x} (%)	σ	\bar{x} (%)	σ	\bar{x} (%)	σ	\bar{x}
Camada 0-0,05							
Cc	6,3	0,3	59,0	0,5	89,8	4,4	6,01

Co	8,7	7,1	53,0	8,4	81,1	3,6	6,42
Cs	10,4	1,4	54,9	2,1	79,9	0,9	6,06
F40	12,1	1,8	52,6	3,0	82,0	5,3	5,76
F200	15,3	5,2	49,0	3,0	83,2	2,3	5,72
C1	*		ns		ns		ns
C2	*		ns		ns		ns
C3	*		ns		ns		ns
C4	*		ns		ns		ns
Camada 0,05 a 0,20							
Cc	6,8	0,3	60,6	0,3	86,7	5,4	6,07
Co	4,7	0,7	60,0	0,8	90,8	2,1	5,7
Cs	5,8	1,3	59,4	2,6	89,2	4,5	6
F40	7,3	1,9	58,2	3,0	86,1	2,4	6,16
F200	8,1	1,5	52,8	0,2	81,1	2,3	6,09
C1	*		ns		ns		ns
C2	ns		ns		ns		ns
C3	ns		ns		ns		ns
C4	*		ns		ns		ns
Camada 0,20 a 0,40							
Cc	4,6	0,4	53,8	12,6	86,7	1,8	5,91
Co	6,5	1,1	59,1	1,5	90,0	1,1	5,71
Cs	4,1	0,5	59,5	0,3	92,6	0,3	5,68
F40	7,1	0,0	59,6	3,6	88,0	3,1	6,22
F200	8,3	1,9	59,1	4,7	86,2	5,3	6,1
C1	*		ns		ns		*
C2	ns		ns		ns		ns
C3	ns		ns		ns		ns
C4	*		ns		ns		ns

Fonte: Autor.

Cc-citros em cultivo convencional; Cs-citros em cultivo agroflorestal; Co-citros em cultivo orgânico; F40-floresta com 40 anos de regeneração; F200-floresta com 200 anos de regeneração. Contrastes ortogonais pelo teste F a 5%; C1 = Florestas vs. Citros; C2 = Co + Cs vs. Cc; C3 = Cs vs. Co; e C4= F200 vs. F40.

Tabela 14 - Cromatografia circular de Pfeiffer: espessuras das zonas na CCP realizados no período 3.

Manejo	Esp Z1		Esp Z2		Esp Z3		Esp Z4	
	\bar{x} (cm)	σ	\bar{x} (cm)	σ	\bar{x} (cm)	σ	\bar{x} (cm)	σ
Camada 0-0,05								
Cc	1,24	0,17	5,34	0,08	3,01	0,14	2,41	0,11
Co	1,04	0,86	5,32	1,87	3,37	0,58	2,26	0,43

Cs	0,76	0,04	6,32	0,10	3,70	0,46	1,22	0,53
F40	1,45	0,22	4,86	0,57	3,53	0,28	2,16	0,63
F200	1,83	0,63	4,05	0,27	4,10	0,64	2,01	0,27
C1	*		ns		ns		ns	
C2	ns		ns		ns		ns	
C3	ns		*		*		ns	
C4	*		ns		*		ns	
Camada 0,05 a 0,20								
Cc	0,69	0,16	6,44	0,15	3,57	0,85	1,30	0,54
Co	0,56	0,08	6,64	0,18	3,70	0,15	1,10	0,25
Cs	0,81	0,04	6,46	0,00	3,14	0,60	1,59	0,64
F40	0,87	0,23	6,11	0,59	3,34	0,64	1,67	0,29
F200	0,97	0,18	5,36	0,20	3,40	0,25	2,27	0,27
C1	*		ns		ns		*	
C2	ns		ns		ns		ns	
C3	*		ns		ns		*	
C4	ns		ns		ns		*	
Camada 0,20 a 0,40								
Cc	0,49	0,07	6,65	0,04	3,97	0,00	0,89	0,03
Co	0,78	0,13	6,31	0,27	3,71	0,17	1,20	0,13
Cs	0,55	0,05	5,91	1,46	3,94	1,73	1,60	0,22
F40	0,85	0,00	6,30	0,43	3,41	0,05	1,43	0,38
F200	0,99	0,22	6,09	0,35	3,26	1,20	1,65	0,63
C1	*		ns		ns		ns	
C2	*		ns		ns		*	
C3	ns		ns		ns		*	
C4	ns		ns		ns		ns	

Fonte: Autor.

Cc-citros em cultivo convencional; Cs-citros em cultivo agroflorestal; Co-citros em cultivo orgânico; F40-floresta com 40 anos de regeneração; F200-floresta com 200 anos de regeneração. Contrastes ortogonais pelo teste F a 5%; C1 = Florestas vs. Citros; C2 = Co + Cs vs. Cc; C3 = Cs vs. Co; e C4= F200 vs. F40.

Dentre os resultados da análise visual, a integração pode ser considerado o mais importante por relacionar toda a imagem, logo todo sistema. Trata-se da conexão dos padrões radiais entre zonas através de plumas ou linhas e picos. As plumas terminam em picos e integram as zonas 3 e 4, ou seja, na imagem se formam complementares. As áreas florestais, em geral, tendem a apresentar melhor integração. O que se espera em termos práticos é que os melhores sistemas de cultivo atinjam esse padrão. Com relação às áreas de citros, na camada 0 a 0,05 m, as áreas de manejo biodinâmico (Co e Cs) e as florestais (F40 e F200) se distinguem superiormente do Cc em todos períodos observadas. Nas profundidades 0,05 a 0,20 m e 0,20 0,40 m no período 1 e 3, as áreas florestais apresentam escores mais elevados que as áreas de

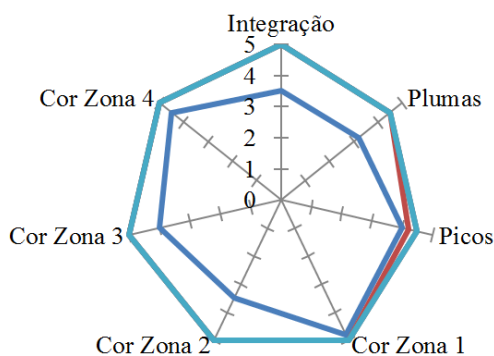
cultivo (Figuras 18 e 19). As plumas, picos e cores seguem um comportamento de resultados semelhante à integração.

As cores descritas também são um bom indicador. A zona 1 obteve as cores mais inferiores em profundidades de 0,05 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m, com tons escuros. Após essa zona, a zona 4 obteve tons inferiores; nesse caso, cores claras e borradas nos dois períodos (Figuras 18 e 19). As cores mais inferiores ocorreram no Cc, na camada 0 a 0,05 m e 0,05 a 0,20 m, e no Cs na camada 0,20 a 0,40 m.

Figura 18 - Gráficos do escore visual (1 a 5) das características de integração radial das zonas, plumas ou canais, picos da zona 3 e cor de cada zona, realizados no período 1, nas camadas a (0 a 0,05 m), b (0,05 a 0,20 m) e c (0,20 a 0,40 m). Cc-citros em cultivo convencional; Cs-citros em cultivo agroflorestal; Co-citros em cultivo orgânico; F40-floresta com 40 anos de regeneração; F200-floresta com 200 anos de regeneração. Ao lado são apresentados em quadros

os contrastes pelo teste F a 5%. Contrastes ortogonais pelo teste F a 5%; C1 = Florestas vs. Citros; C2 = Co + Cs vs. Cc; C3 = Cs vs. Co; e C4= F200 vs. F40.

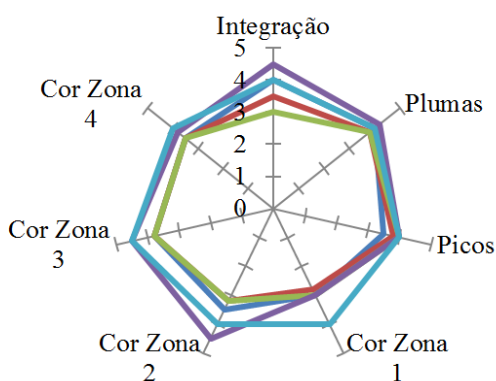
(a)



	Int	Pl	Pi
C1	ns	ns	ns
C2	*	*	ns
C3	ns	ns	ns
C4	ns	ns	ns

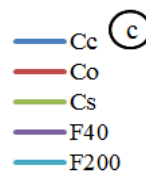
	Z1	Z2	Z3	Z4
C1	ns	ns	ns	ns
C2	ns	*	*	ns
C3	ns	ns	ns	ns
C4	ns	ns	ns	ns

(b)

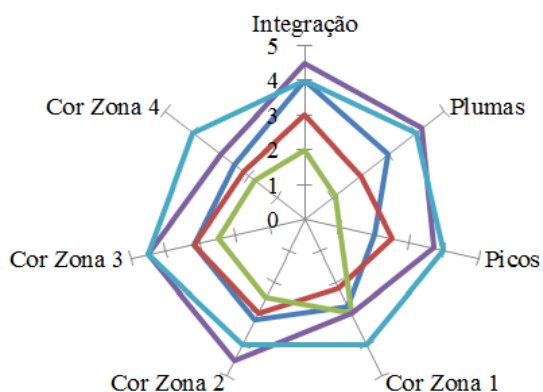


	Int	Pl	Pi
C1	ns	ns	ns
C2	ns	ns	ns
C3	ns	ns	ns
C4	ns	ns	ns

	Z1	Z2	Z3	Z4
C1	ns	*	*	ns
C2	ns	ns	ns	ns
C3	ns	ns	ns	ns
C4	*	ns	ns	ns



(c)



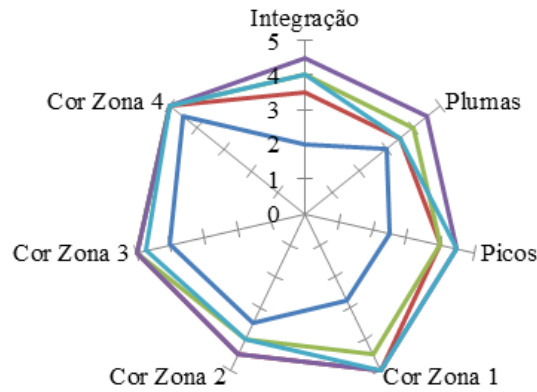
	Int	Pl	Pi
C1	ns	*	*
C2	ns	ns	ns
C3	ns	ns	ns
C4	ns	ns	*

	Z1	Z2	Z3	Z4
C1	ns	*	*	*
C2	ns	ns	ns	ns
C3	ns	ns	ns	ns
C4	*	ns	ns	*

Figura 19 – Gráficos do escore visual (1 a 5) das características de integração radial das zonas, plumas ou canais, picos da zona 3 e cor de cada zona, realizados no período 3, nas camadas a (0 a 0,05 m), b (0,05 a 0,20 m) e c (0,20 a 0,40 m). Cc-citros em cultivo convencional; Cs-citros em cultivo agroflorestal; Co-citros em cultivo orgânico; F40-floresta com 40 anos de regeneração; F200-floresta com 200 anos de regeneração. Ao lado são apresentados em quadros

os contrastes pelo teste F a 5%. Contrastes ortogonais pelo teste F a 5%; C1 = Florestas vs. Citros; C2 = Co + Cs vs. Cc; C3 = Cs vs. Co; e C4= F200 vs. F40.

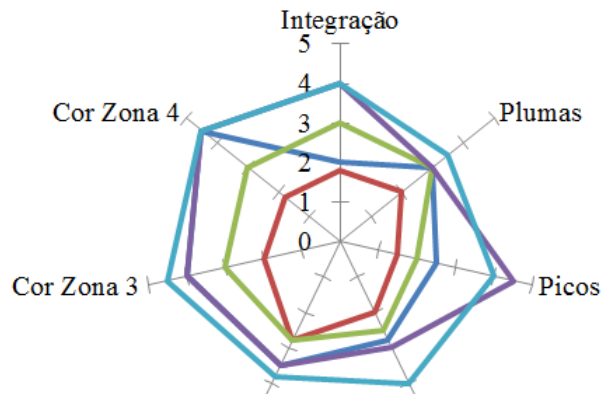
a



	Int	Pl	Pi
C1	ns	ns	ns
C2	*	ns	*
C3	ns	ns	ns
C4	ns	ns	ns

	Z1	Z2	Z3	Z4
C1	ns	ns	ns	ns
C2	*	ns	ns	ns
C3	ns	ns	ns	ns
C4	ns	ns	ns	ns

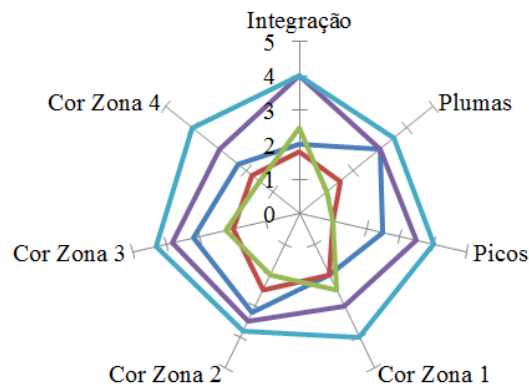
b



	Int	Pl	Pi
C1	*	ns	*
C2	ns	ns	ns
C3	*	*	ns
C4	ns	ns	ns

	Z1	Z2	Z3	Z4
C1	*	ns	ns	ns
C2	ns	ns	ns	ns
C3	ns	ns	*	*
C4	*	ns	ns	ns

c



— Cc
— Co
— Cs
— F40
— F200

	Int	Pl	Pi
C1	*	ns	*
C2	ns	ns	ns
C3	ns	ns	ns
C4	ns	ns	ns

	Z1	Z2	Z3	Z4
C1	*	*	*	*
C2	ns	ns	ns	ns
C3	ns	ns	ns	ns
C4	*	ns	ns	*

3.2 CORRELAÇÃO ENTRE DADOS DERIVADOS DA CCP E PROPRIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS E BIOLÓGICAS DO SOLO

A correlação de Spearman entre parâmetros da CCP com características medidas e observações visuais e também com os parâmetros químicos, físicos e biológicos tradicionalmente analisados, foi realizada afim de relacionar cada padrão ou grupo de caracteres da CCP com características do solo. Correlações significativas foram encontradas entre a espessura da zona 1 e o Rf da zona 1 com todos as avaliações visuais. A espessura da zona 2 apresentou, por sua vez, correlação com a cor Z2 e Z3 (Tabela 15).

Quando consideradas as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, correlação significativa e negativa ocorreu em todas as medições visuais com a Ds e, positivamente, com a PT, microporosidade, estabilidade de agregados, COT e enzima FDA. Dentre as características mensuradas, a espessura e Rf da Z1 apresentaram o mesmo comportamento de correlação que as variáveis visuais (Tabela 16).

O parâmetro entropia foi testado para avaliar sua relação com as características da imagem. Sabe-se que sua relação é principalmente com as plumas, mas não houve correlação no presente estudo.

Tabela 15 - Correlação de Spearman entre os parâmetros avaliados visualmente e mensurados na CCP.

Parâmetros Visuais	Parâmetros mensurados							Entropia
	Esp Z1	Esp Z2	Esp Z3	Esp Z4	Rf _{z1}	Rf _{z2}	Rf _{z3}	
Integração	0,66*	-0,52	0,06	0,35	0,67*	-0,31	-0,34	0,15
Plumas	0,67*	-0,59	0,14	0,38	0,71*	-0,41	-0,37	0,21
Picos	0,67*	-0,59	0,01	0,49	0,70*	-0,40	-0,48	0,18
CorZ1	0,69*	-0,54	-0,01	0,45	0,69*	-0,34	-0,43	0,15
CorZ2	0,64*	-0,62*	0,13	0,40	0,67*	-0,46	-0,39	0,22
CorZ3	0,64*	-0,60*	0,08	0,41	0,67*	-0,44	-0,40	0,27
CorZ4	0,66*	-0,55	-0,06	0,49	0,69*	-0,36	-0,47	0,28
Entropia	0,07	-0,18	-0,20	0,29	0,06	-0,18	-0,31	-

Fonte: Autor.

Legenda: * = $p \leq 0,005$.

Tabela 16 - Correlação de Spearman entre os parâmetros da CCP e as variáveis químicas, físicas e biológicas do solo.

	Esp Z1	Esp Z2	Esp Z3	Esp Z4	Rf z1	Rf z2	Rf z3	Integração	Plumas	Picos	Cor Z1	Cor Z2	Cor Z3	Cor Z4	Entropia
Areia	-0,06	0,07	-0,06	0,01	-0,08	0,07	-0,01	-0,39	-0,33	-0,36	-0,30	-0,40	-0,34	-0,31	-0,07
Silte	0,03	0,13	0,25	0,00	0,15	0,25	-0,18	0,30	0,37	0,42	0,38	0,48	0,44	0,48	0,03
Argila	-0,04	0,01	0,10	-0,10	-0,02	-0,02	0,10	0,40	0,28	0,28	0,21	0,28	0,22	0,15	0,12
Ds	-0,73*	0,63*	0,02	-0,46	-0,73*	0,42	0,46	-0,68*	-0,69*	-0,79*	-0,80*	-0,81*	-0,89*	-0,87*	-0,21
PT	0,73*	-0,63*	-0,02	0,46	0,73*	-0,42	-0,45	0,67*	0,69*	0,79*	0,79*	0,81*	0,88*	0,86*	0,20
Mip	0,73*	-0,61*	-0,05	0,46	0,74*	-0,39	-0,46	0,72*	0,77*	0,80*	0,81*	0,86*	0,90*	0,88*	0,24
Map	0,40	-0,37	0,04	0,26	0,39	-0,29	-0,26	0,42	0,41	0,56	0,56	0,53	0,61*	0,60	0,02
EA	0,66*	-0,51	0,04	0,45	0,67*	-0,36	-0,44	0,28	0,40	0,59	0,63*	0,53	0,63*	0,82*	0,17
pH	-0,11	0,11	-0,03	0,05	-0,11	0,06	-0,05	-0,29	-0,22	-0,20	-0,18	-0,28	-0,22	-0,17	-0,12
COT	0,68*	-0,61*	0,07	0,49	0,69*	-0,42	-0,48	0,62*	0,68*	0,73*	0,67*	0,64*	0,75*	0,80*	0,05
FDA	0,72*	-0,67*	-0,04	0,49	0,73*	-0,47	-0,49	0,63*	0,70*	0,76*	0,77*	0,77*	0,83*	0,86*	0,13

Fonte: Autor.

Legenda: * = $p \leq 0,005$.

3.3 ANÁLISES DOS AGROECOSSISTEMAS PELAS COMPONENTES PRINCIPAIS

A análise de componentes principais considerou as duas primeiras componentes, que tiveram autovalores acumulado de 99%. A tabela 17 e 18 apresentam os escores de cada variável para as componentes de ordem 1 e 2. Na figura 21 e 22 é mostrado o agrupamento das variáveis e os sistemas de cultivo.

Houve um adequado agrupamento dos sistemas pelas variáveis. O Cs e Co possuem semelhança em ambos períodos 1 e 3 (são os períodos em que houve levantamento florístico herbáceo e análise de estabilidade de agregados) e distinguem-se do Cc; por isso, permitem uma melhor compreensão dos sistemas. Essa semelhança no período 1 ocorre pelas propriedades pH, COT, Mip, Rf1 e Im, e se distingue do sistema convencional pela Ds e FDA. No período 3, os sistemas Cs e Co se assemelham pelas variáveis pH, COT, Mip, FDA, Rf1, Int e Im. A distinção desses sistemas para o Cc ocorre entre a estabilidade de agregados e densidade do solo (Figuras 21 e 22).

As 12 variáveis originais foram agrupadas em apenas dois fatores e o ajuste do modelo foi capaz de explicar 99,9% das variâncias. Em geral, o primeiro componente principal explicou a maior parte da variação original dos dados, 86,0% e 75,2%, respectivamente, para períodos 1 e 3 (Figuras 21 e 22). Pode-se afirmar que a análise dos componentes principais foi útil no agrupamento e distinção dos sistemas de acordo com as variáveis selecionadas.

As variações ocorridas na primeira componente não permitiu distinguir uma variável de destaque. A maioria apresentou grau de correlação baixo, a maior correlação ocorreu com a variável Rf1 com coeficiente de 0,31, seguido com COT, Mip, Im, Riq e Oc com coeficientes iguais de 0,30. Na segunda componente a correlação maior ocorreu para FDA com 0,58 (Período 1, Tabela 17).

Na primeira componente do terceiro período a maior variação ocorreu para o COT e Oc com coeficiente de 0,33, seguido do Mip e Rf1 com 0,32. Na segunda componente, a maior variação foi para Bait com -0,58 e Ds com 0,52 (Tabela 17).

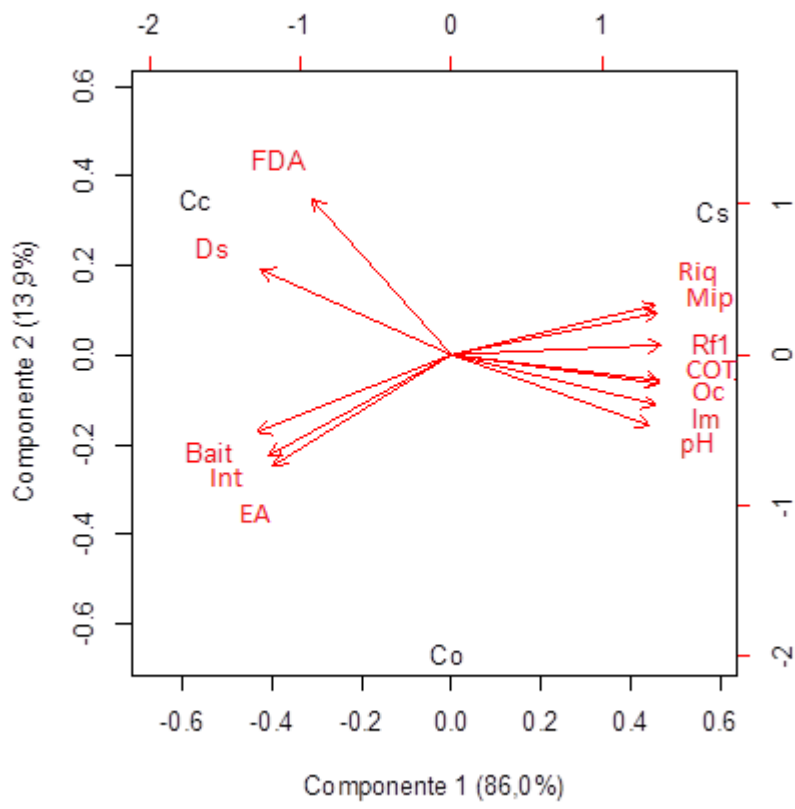
Tabela 17 - Escores ou coeficientes de correlação das componentes 1 e 2 para variáveis analisadas. Nos períodos 1 e 3, para os sistemas Cc – citros convencional, Co – citros orgânico e Cs – citros agroflorestal.

Variáveis	Período 1		Período 3	
	PC1	PC2	PC1	PC2
pH	0,293	-0,262	0,312	-0,202
COT	0,309	-0,097	0,331	-0,058
Ds	-0,284	0,314	-0,139	0,527
Mip	0,305	0,154	0,321	-0,152
Bait	-0,289	-0,287	-0,015	-0,580
FDA	-0,207	0,576	0,311	-0,206
EA	-0,264	-0,407	-0,281	-0,311
Rf1	0,311	0,032	0,323	-0,140
Int	-0,273	-0,373	0,311	0,208
Im	0,302	-0,186	0,301	0,249
Riq	0,303	0,181	0,305	0,232
Oc	0,308	-0,105	0,333	0,022

Fonte: Autor.

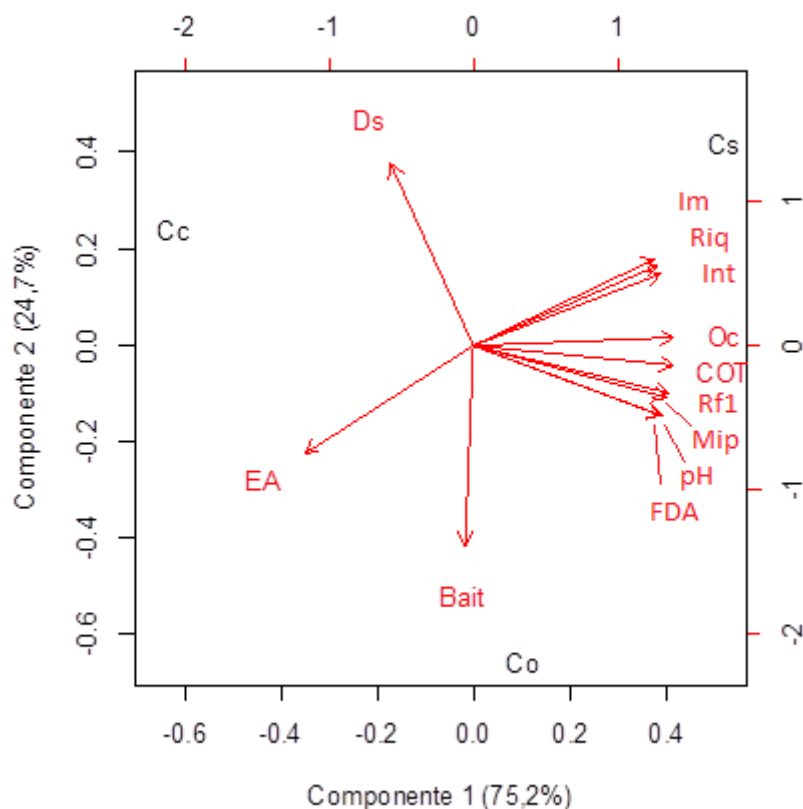
Ds-densidade do solo, Mip-microporosidade, EA-estabilidade de agregados, pH , COT-carbono orgânico total, FDA- enzima fluoresceína diacetato, Lbait-atividade alimentar/lâmina bait, Rf1-Rf zona 1, Int-padrões cromatográficos de integração, Im-Índice de Margalef, Riq – riqueza e Oc - ocorrência.

Figura 20 - Análise de componentes principais (ACP) dos sistemas Cc citros convencional, Co citros orgânico e Cs citros agroflorestal no período 1 com as seguintes variáveis: Ds-densidade do solo, Mip-microporosidade, EA-estabilidade de agregados, pH , COT-carbono orgânico total, FDA- enzima fluoresceína diacetato, Bait-atividade alimentar/lâmina bait, Rf1-Rf zona 1, Int-padrões cromatográficos de integração , Im-Índice de Margalef, Riq – riqueza e Oc - ocorrência.



Fonte: Autor.

Figura 21- Análise de componentes principais (ACP) dos sistemas Cc citros convencional, Co citros orgânico e Cs citros agroflorestal no período 3 com as seguintes variáveis: Ds-densidade do solo, Mip-microporosidade, EA-estabilidade de agregados, pH , COT-carbono orgânico total, FDA- enzima fluoresceína diacetato, Lbait-atividade alimentar/lâmina bait, Rf1-Rf zona 1, Int-padrões cromatográficos de integração , Im-Índice de Margalef, Riq – riqueza e Oc - ocorrência.



Fonte: Autor.

No segundo momento de análise foram incluídos os cinco sistemas de estudo, com as variáveis selecionadas do solo. As nove variáveis originais foram agrupadas em apenas dois fatores e o ajuste do modelo foi capaz de explicar 83,9% e 86,5%, para os períodos 1 e 3, respectivamente (Figuras 22 e 23), e os escores de cada variável na tabela 18.

A inclusão dos sistemas florestais na análise multivariada mostra que F40 e F200 se aproximam na distribuição das componentes e distinguem-se dos demais agroecossistemas nos dois períodos avaliadas. No período 1, as duas áreas florestais assemelham-se pelas variáveis Bait, Int e FDA. Os sistemas Cs e Co se agrupam pelo COT e pH, o sistema convencional Cc distingue-se dos demais pela densidade do solo (Figura 22).

No período 3, o agrupamento dos sistemas é semelhante ao do período 1. No entanto, a variável que integra nos sistemas Cs e Co é pH, enquanto nas florestas F40 e F200 são Int, Rf1 e FDA. A distinção desses sistemas para o Cc ocorre pela Bait e Ds (Figura 23).

As variações ocorridas nas componentes seguem com escores baixos e, assim, não distinguem uma variável de destaque; o maior coeficiente ocorreu com a microporosidade com -0,41, seguido com COT, Int e EA. Na segunda componente, a correlação ocorreu maior para FDA com -0,46, no período 1. No período 3, na primeira componente o maior coeficiente ocorreu com a microporosidade e o Rf1, respectivamente -0,41 e 0,41. Na segunda componente, a maior variação foi para EA com -0,60 e FDA com -0,57 (Tabela 18).

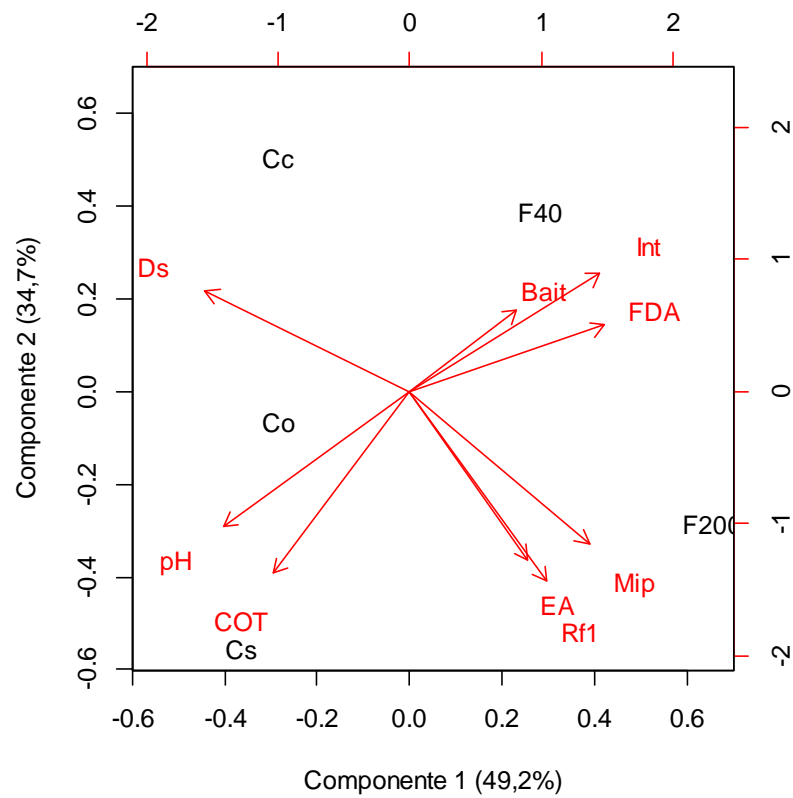
Tabela 18- Escores ou coeficientes de correlação das componentes 1 e 2 para variáveis analisadas. Nos períodos 1 e 3, para os sistemas Cc – citros convencional, Co – citros orgânico Cs – citros agroflorestal, F40 – floresta 40 anos e F200 floresta 200 anos.

Variáveis	Período 1		Período 3	
	PC1	PC2	PC1	PC2
pH	0,22	0,20	-0,38	-0,19
COT	0,39	0,16	0,39	-0,02
Ds	0,24	-0,40	0,12	-0,46
Mip	-0,41	0,24	-0,41	0,04
Bait	0,36	-0,36	0,39	-0,23
FDA	-0,27	-0,44	0,18	-0,57
EA	-0,38	-0,32	-0,20	-0,60
Rf1	0,28	-0,46	0,41	0,09
Int	0,38	0,28	0,37	0,12

Fonte: Autor.

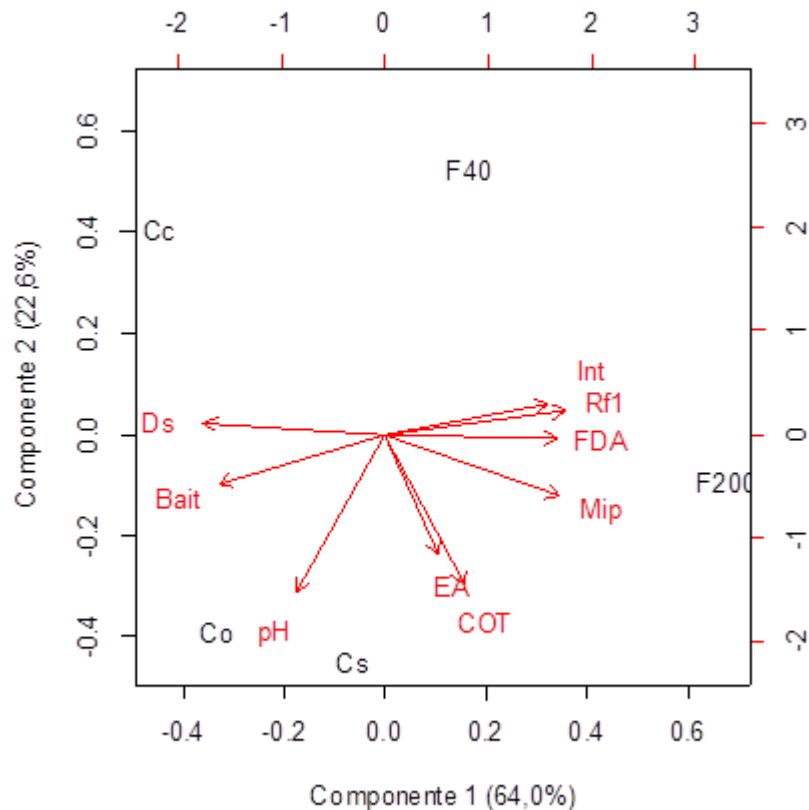
Ds-densidade do solo, Mip-microporosidade, EA-estabilidade de agregados, pH , COT-carbono orgânico total, FDA- enzima fluoresceína diacetato, Lbait-atividade alimentar/lâmina bait, Rf1-Rf zona 1, Int-padrões cromatográficos de integração.

Figura 22- Análise de componentes principais (ACP) dos sistemas Cc citros convencional, Co citros orgânico, Cs citros agroflorestal, F40 floresta 40 anos e F200 floresta 200 anos, no período 1 com as seguintes variáveis: Ds-densidade do solo, Mip-microporosidade, EA-estabilidade de agregados, pH , COT-carbono orgânico total, FDA- enzima fluoresceína diacetato, Lbait-atividade alimentar/lâmina bait, Rf1-Rf zona 1, Int-padrões cromatográficos de integração.



Fonte: Autor.

Figura 23- Análise de componentes principais (ACP) dos sistemas Cc citros convencional, Co citros orgânico, Cs citros agroflorestal, F40 floresta 40 anos e F200 floresta 200 anos, no período 3 com as seguintes variáveis: Ds-densidade do solo, Mip-microporosidade, EA-estabilidade de agregados, pH , COT-carbono orgânico total, FDA- enzima fluoresceína diacetato, Lbait-atividade alimentar/lâmina bait, Rf1-Rf zona 1, Int-padrões cromatográficos de integração.



Fonte: Autor.

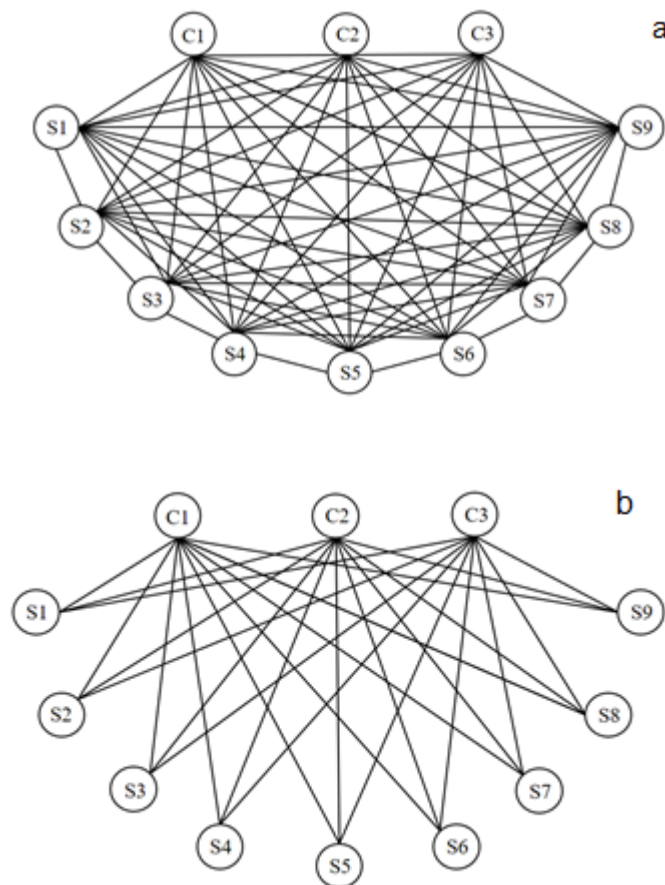
3.4 REDE DE GRAFOS E IDENTIFICAÇÃO DE PADRÕES

A rede em estudo é um grafo ponderado, definido por um conjunto de vértices (N) e um conjunto de arestas (M), e um mapa (W) da rede. Cada vértice é definido por valores $i=1, 2, \dots, N$; as arestas são identificadas pelo par (i,j) que representa a conexão do vértice i ao j com uma ponderação $W(i,j)$ associada.

Os dados são expressos pela matriz de adjacência (A), uma representação de uma rede a partir de um sistema matricial, onde a_{ij} é o peso associado à conexão do vértice i para o vértice j . O grafo é classificado como indireto, pela característica simétrica da matriz. Para sua respectiva construção foi gerada a matriz de correlação, onde $W(i,j)$ corresponde à correlação

de Pearson entre duas variáveis x_1 e x_2 analisadas, de todo o conjunto de dados; isso encerra em um grafo de interação máxima entre variáveis (Figura 24 a). No segundo caso (Figura 24 b), a representação estruturada apresenta como um grafo bipartido, ou seja, apenas a interação entre variáveis do solo e da cobertura. O coeficiente de correlação correspondente dos vértices possui pesos distintos para cada a_{ij} . Assim, a rede se caracteriza como um grafo ponderado. Diante dos pesos distintos nas arestas, alguns parâmetros potencialmente importantes são limitados de serem aplicados nesse tipo de caso.

Figura 24 - Modelo do grafo misto (a) e bipartido (b) ambos com todas as possibilidades de interação entre os vértices, ambos comuns a todos os sistemas agrícolas no presente estudo com as propriedades do solo (S1 a S9) e as variáveis de cobertura (C1 a C3).

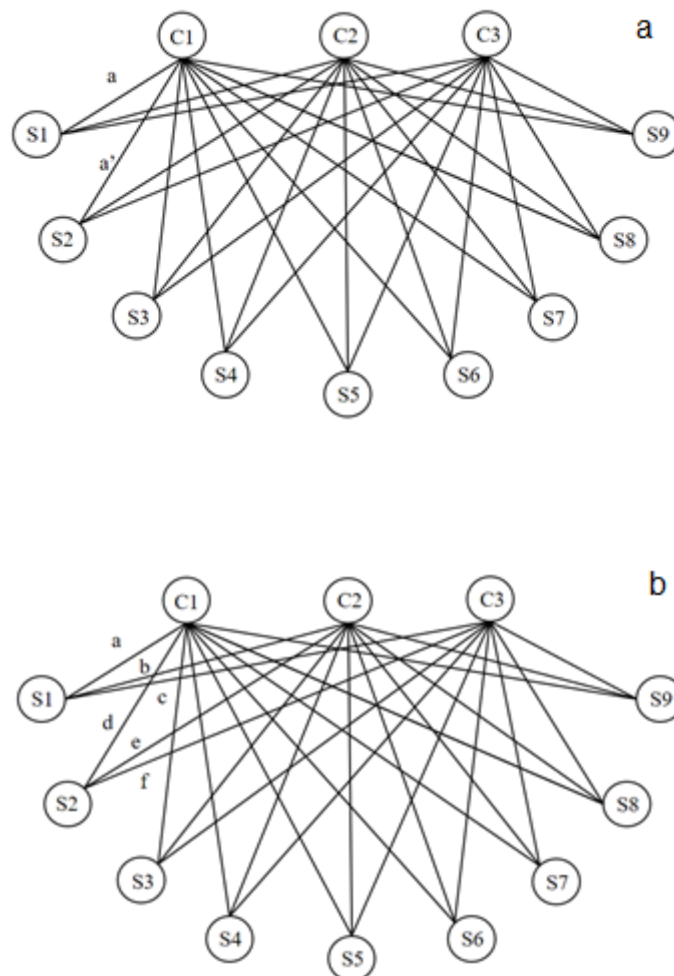


Fonte: Autor.

Considerando a possibilidade da estrutura de um grafo bipartido, com suas possibilidades de ponderações, há dois tipos básicos, nesse caso. O primeiro, apresentado no

parágrafo anterior em que há ponderações ou pesos, com coeficientes de correlação entre a dupla de variáveis, e cada aresta possui um peso diferente (Figura 25b). No segundo caso, trata das arestas serem atribuídas peso binário 1 ou 0, quando ocorre ou não interação entre C e S, respectivamente (Figura 25a). No entanto, se tratarmos como um grafo bipartido binário, parâmetros que permitirão alcançar respostas ligadas aos agroecossistemas não poderão ser calculadas e atingidas.

Figura 25- Modelo do grafo bipartido com as possibilidades de interação entre os vértices (variáveis S_i e C_j) com as arestas (“a” a “f”). No grafo “a” as arestas são representadas sem peso (representação binária, $a = 0$ ou 1), no grafo “b” as arestas são representadas com pesos ou ponderações diferentes ($a \neq b, \dots \neq n$).



Fonte: Autor.

4. DISCUSSÃO

4.1 PADRÕES DA CCP

Nessa pesquisa, diferenças ocorreram nos padrões da CCP nas distintas áreas em estudo. Foi possível distinguir os sistemas de manejo biodinâmico (Co e Cs) do convencional (Cc), e as duas áreas florestais (F40 e F200) dos demais. Cabe ressaltar que ocorreu proximidade do Cs e a área florestal F200, tanto dos parâmetros Rf e espessura, como dos parâmetros visuais. Na diferenciação dos sistemas de cultivo de citros, a principal diferença ocorreu em superfície (camada 0 a 0,05 m), sendo o Co e o Cs semelhantes entre eles e diferente do Cc.

Há uma relação recorrente no conjunto dos padrões das imagens: na superfície ocorre maior intensidade de padrões radiais e terminações onduladas (em especial na borda da última zona), enquanto que à medida que se aprofunda no solo predominam padrões concêntricos e anelares, e a terminação do cromatismo ocorre sem ondulação. Na superfície do solo, há predominância de atividade biológica e grande intensidade de processos e reações bioquímicas acontecem, enquanto na subsuperfície e mais em profundidade esses processos ocorrem com menor intensidade.

4.2 PADRÕES DERIVADOS DA CCP E RELAÇÃO COM AS PROPRIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS E BIOLÓGICAS DO SOLO

Kokornaczyk et al. (2016) propõem dois grupos de parâmetros que podem ser identificados: (1) padrões concêntricos (anéis concêntricos, cores borradas e homogêneas na zona) e (2) padrões radiais (plumas, picos, intensidade de cor e textura (entropia)). O grupo 1 refere negativamente e o grupo 2 positivamente às propriedades do solo.

No presente estudo, observa-se nos resultados da CCP, como processos opostos na diferenciação de padrões concêntricos, escores baixos do parâmetro “integração entre zonas” e padrões radiais. Nos termos da cromatografia, isso depende basicamente da separação do conteúdo do extrato e o fenômeno ocorrido no método em separar tais componentes, ao passo que o primeiro grupo de padrões citados são considerados processos de separação com caracteres de “estagnação”. No grupo de padrões 2, observamos uma direção e interação entre diferentes compostos, isso representa um processo “ativo” e “auto-organização” (Kokornaczyk et al., 2016).

Os parâmetros visuais da CCP com altos escores, que demonstram padrões radiais, se correlacionaram positivamente à porosidade total, microporosidade, COT e hidrólise de FDA, e negativamente à densidade do solo. A zona 1, em especial, obteve relação com densidade do solo, porosidade e estabilidade de agregados, o que reforça a relação dos padrões que ocorrem nessa zona com as propriedades físicas do solo.

Sobre observação das zonas separadamente, Restrepo e Pinheiro (2011) deixam claro o direcionamento na interpretação, em que:

- (a) Zona central - zona de aeração ou oxigenação, onde o nitrato de prata reage com alguns elementos presentes na amostra. O centro se integra de forma homogênea à zona seguinte, a zona mineral;
- (b) Zona 2 ou zona mineral - a maioria das reações dos minerais de uma amostra está nesse local. Também ficam retidas as substâncias mais pesadas que reagem ao nitrato de prata;
- (c) Zona 3 ou intermediária - chamada de zona protéica ou da matéria orgânica, onde se expressam a presença ou ausência da MOS, mais recalcitrante e humificada em suas propriedades;
- (d) Zona 4 ou externa - último anel da imagem, denomina-se a zona enzimática ou nutricional. As reações que ocorrem nessa zona são relacionadas à moléculas pequenas e que permearam por todo o papel até o fim, pode ser de caráter complexo no metabolismo até reações simples nos padrões.

Como observação final em relação à técnica da CCP, Pfeiffer (1984) propõe o seguinte raciocínio do cientista J. W. von Goethe, escreveu a frase que diz “*a totalidade é mais que a soma total das partes.*” E o mesmo acrescenta, quando observamos um solo, o visualizamos como um sistema e vivo, o que não pode ser demonstrado ou reconhecido se pegarmos as partes ou componentes desse sistema original por meio analítico. O sistema natural contém fatores que não podem ser reconhecidos ou demonstrados por meio de uma análise individual. Valores biológicos são os mais perdidos nesse processo.

4.3 ANÁLISES DOS AGROECOSSISTEMAS PELAS COMPONENTES PRINCIPAIS

Na análise de componentes principais, Valladares et al. (2008) sugerem que cada componente principal é uma combinação linear das variáveis originais. Quando os dois

primeiros componentes principais conseguem reter cumulativamente quantidade suficiente da informação total contida no conjunto das variáveis originais, que era definido pelas 12 ou 9 variáveis, os sistemas podem ser definidos pelas duas novas variáveis (Componentes 1 e 2), o que possibilita sua localização como um ponto em um gráfico bidimensional.

Quanto mais próximos forem os pontos nos componentes, maiores tenderão a ser semelhantes, podendo ser, então, utilizadas para verificar quais os parâmetros analisados poderiam ser utilizados para diferenciar ou para indicar similaridades entre as áreas de estudo. Nesse caso, os escores em ambas as situações foram baixos, coeficientes abaixo de 0,60, refere-se a pouca semelhança.

Apesar de baixos, os coeficientes permitiram distinguir os sistemas de uso e manejo. O manejo conservacionista adotado pelo agricultor nas áreas Cs e Co diferencia-se do Cc pela cobertura espontânea (índice de Margalef, ocorrência e riqueza) e pelo pH, COT, microporosidade e cromatografia de Pfeiffer (parâmetro Rf1) nos períodos 1 e 3. Isso reflete o manejo das áreas Cs e Co com permanente cobertura do solo e sem interferência degradadora nos sistemas, assim como o conjunto de práticas como compostagem, roçagem, biofertilizantes, tráfego mínimo de maquinário, dentre outras, que proporcionam melhoria no sistema. A cobertura viva protege o solo das intempéries climáticas, mantém e, em muitos casos, aumenta o teor de matéria orgânica do solo, mobiliza e recicla nutrientes em distintos processos e favorece a atividade biológica do solo (GUERRA; TEIXEIRA, 1997; PERIN et al., 2003; DUDA et al., 2003). O aporte de resíduos vegetais e práticas conservacionistas de manejo aumentam o estoque e a labilidade do carbono no solo (BAYER et al., 2009).

4.4 PROPRIEDADES E PARÂMETROS DOS GRAFOS

Os parâmetros que podem ser obtidos de um grafo são variados, de acordo com a necessidade, objetivo da pesquisa e, matematicamente, como o grafo é estruturado e ponderado, os principais são: agrupamento, “grau de conectividade” (*assortativity*) (NEWMAN, 2003), integração (*connectance*) (WASSERMAN; FAUST, 1994), coeficiente de agrupamento global, distribuição de níveis e modularidade (WOODWARD; BOHAN, 2013). Assim como a rede de grafos, os vértices também oferecem parâmetros de importantes respostas, os principais são: autovetor central ou centralidade, grau de conectividade, proximidade, coeficiente de agrupamento e excentricidade (WOODWARD; BOHAN, 2013). Isso permite inferir e dar

suporte à diversidade do agroecossistema e a estabilidade do mesmo, até relações com sua dinâmica ou variação (tempo-espaço).

No presente estudo, por se tratar de um grafo ponderado, há limitações na obtenção dos parâmetros citados e, somado às informações de real interesse ao estudo, são propostos cálculos como o “grau de conectividade”, que representa quando os vértices identificados ou medidos como uma variável contínua, é a medida da similaridade entre os valores das conexões entre os vértices, geralmente calculado pelo coeficiente de correlação ou vértices com diferentes valores.

Foi apresentado, neste estudo, o grafo (Figura 24) com possibilidades de ponderação nas arestas (ou rede de interação). Isso proporciona diversas possibilidades na determinação de características do sistema. Assim, a distribuição das interações ao longo dos vértices é importante para a visualização e examinar como essas interações são organizadas. Diferenças interespecíficas na amostragem para caracterizar propriedades de um grafo segue um assunto de debate (CHACOF et al., 2012; RIVERA-HUTINEL et al., 2012). São propostas escalas locais para integrar um quadro estrutural e combinações, e que permitam validação (WOODWARD; BOHAN, 2013).

As funções ecológicas em ecossistemas naturais ou manejados proveem um montante de benefícios materiais. Contudo, a quantificação e capacidade para proporcionar esses serviços é desafiadora pela complexidade dos processos inerentes envolvidos (COSTANZA et al., 2006; RAFFAELLI, et al., 2013). O sistema agroflorestral, no presente estudo, apresentamos os melhores parâmetros do solo e cobertura, mostrado nos dois capítulos. Vários estudos aportam à importância dos serviços ecossistêmicos prestados pelos sistemas agroflorestrais, como fruto de suas práticas e relações ecológicas intrínsecas.

As mudanças na diversidade, conectividade e padrões de interação preveem influência no funcionamento de um ecossistema. Para uma agricultura sustentável futura deve ser dado ênfase no manejo que proporciona ganho em serviços ecossistêmicos (DORÉ et al., 2011). Por fim, aborda a rede de grafos como promissora a inclusão de variáveis que representam serviços ecossistêmicos, citado anteriormente em sua importância e complexidade. Sua estruturação torna desafiadora e proporciona ganho ecológico na predição e manejo de distintos agroecossistemas.

5. CONCLUSÃO

As áreas em seu distintos manejos puderam ser distinguidas pelo método Cromatografia Circular de Pfeiffer e pela análise de componentes principais, cada uma em sua abordagem.

A CCP permitiu expressar as propriedades do solo e obteve correlações importantes entre variáveis tradicionais como densidade do solo, microporosidade, estabilidade de agregados, carbono orgânico total e hidrólise de FDA.

Os padrões expressos na CCP podem ser uma boa fonte de informação sobre a condição de conservação e estabilidade do solo. Em especial, a partir da diferenciação dos padrões circulares e radiais, em que indicam baixa fertilidade e alta fertilidade no solo, respectivamente.

A leitura e interpretação visual dos padrões, apesar de atribuídos pelo usuário do método, permite a melhor compreensão e interpretação da imagem formada.

Pela análise de componentes, os sistemas citros orgânico e agroflorestal mostraram-se próximos na distribuição dos componentes e distintos do citros convencional. Nos dois períodos, primavera e outono, ocorreu variação nos parâmetros observados. No entanto, os sistemas seguiram com mesma distinção.

A tentativa de desenvolver a teoria de grafos em dados de solo e cobertura no agroecossistemas foi promissora. A ferramenta se mostra com potencial, em especial para estudos de agroecossistemas que envolvam diversidade intrínscica, processos e fenômenos ecológicos até inclusão de serviços ecossistêmicos como variáveis para que possa inferir hipóteses científicas e práticas que permitam avanço numa agricultura sustentável.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados nos Capítulos I e II evidenciam que sistemas produtivos mais sustentáveis como manejado na agricultura biodinâmica e, mais ainda, em sistema agroflorestal, podem mitigar o impacto dos processos erosivos, aumentando a saúde do solo e a longevidade na sua condição de produção.

No Capítulo I, por meio do estudo da química, física e biologia do solo, pode-se compreender melhor os sistemas de cultivo e a qualidade do solo referente aos pomares na Região do Vale do Caí/RS, para, assim, dar suporte aos distintos sistemas de manejo e compreender a capacidade natural da região.

No Capítulo II, a técnica da cromatografia circular de Pfeiffer mostrou-se distinta de métodos recorrentes e com eficiência na avaliação da qualidade do solo, e traz uma importante relação com a saúde do solo ou do sistema. Também possui a particularidade da análise de visual de um padrão (ou conjunto de padrões), o que reforça ainda mais seu uso no meio rural de autonomia e diálogo entre agricultores. Esse mesmo capítulo seguiu com a abordagem de técnicas matemáticas para integração de variáveis, afim de estruturar um agroecossistema. Inicialmente com a análise multivariada, seguido da integração por meio de uma nova técnica que possibilita captar a conectividade de diferentes elementos de cobertura e do solo, com o propósito de indicar quais sistemas podem ser mais viáveis a longo prazo para a conservação e estabilidade do solo, à produção agrícola e permitir avanços na tomada de decisões e manejo adotado. A teoria de grafos também mostra ser viável integrar variáveis e fenômenos complexos como os serviços ecossistêmicos e propor observações mais sistêmicas na agricultura.

A técnica da cromatografia circular de Pfeiffer foi escolhida devido à sua capacidade de permitir a visualização das características do solo, em especial por permitir analisar a integração de variáveis químicas, físicas e biológicas do solo, bem como processos bioquímicos envolvidos. Foi desenvolvida especificamente para sistemas de agricultura biodinâmica, e posteriormente, extrapolada para sistemas de base agroecológica. Também é uma técnica de simples execução e de baixo custo em todas as etapas laboratoriais.

A teoria dos Grafos, no segundo capítulo, traz a possibilidade de aplicação matemática para análise das diferentes variáveis dos diferentes sistemas produtivos, com grandes possibilidades de aplicabilidade e expansão. Essa teoria permite aprofundar e compreender agroecossistemas como um organismo, em que tudo está conectado por uma rede; nesse caso, um grafo. Entretanto, neste trabalho somente foi possível a elaboração preliminar da teoria devido à limitação em conhecimento de base para a realização de análises dessa natureza e obter saídas consistentes e seguras, sendo necessário, para isso, uma tese específica sobre o tema,

mostrando a necessidade de busca como forma de ampliar pesquisas de análises de sistemas agrícolas e responder matematicamente as questões que interferem na produção de alimentos e na vida do solo.

Toda representação matemática de fenômenos, em especial ecológicos, possui limitações para representar a realidade e essa representação é proporcional à qualidade da informação fornecida e a robustez do modelo matemático utilizado. Com aumento de escala, a área estudada torna-se mais desuniforme e os processos não podem ser tratados como lineares, fato que limita sua representatividade. Quanto mais complexo o sistema a ser representado, maiores as limitações relativas às previsões dos modelos (DIDONÉ, 2017). A teoria de Grafos vai ao encontro dessas limitações, pois se propõe a analisar complexidade com o emprego de alguns princípios aqui abordados: uso de redes estruturadas, reduzido número de parâmetros ou variáveis e consciente dos objetivos.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. I. de. Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais. 2008. 79p. **Dissertação** (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

ALAOUI, A.; LIPIEC, J.; GERKE, H.H. A review of the changes in the soil pore system due to soil deformation. **Soil Tillage Research**, p.1-15, 2011.

ALTIERI, M. Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture, *Front. Agriculture, Ecosystems & Environment*, n.2, p.35 - 42, 2004.

ALTIERI, M.A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v.74, p.19–31. 1999.

ANDRADE, H. J.; IBRAHIM, M. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? **Agroforestería em las Américas**, v.10, n.39-40, p.241-463, 2003.

APG III. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. Ed.2. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v.161, p.105-121. 2009.

ARVIDSSON, J. Influence of soil texture and organic matter content on bulk density, air content, compression index and crop yield in field and laboratory compression experiments, **Soil and Tillage Research**, v.49, n.1-2, p.159-170, 1998.

BANDICK, A. K.; DICK, R. P. Field management effects in soil enzyme activities. **Soil Biology and Biochemistry**, v.31, p.1471-1479, 1999.

BARBERA-CASTILLO, N.M. **Diversidad de especies de hormigas en sistemas agroforestales contrastantes de café, em Turrialba, Costa Rica**. 2001. 99p. Dissertação (Mestrado) – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica.

BAYER, C.; et al. Cover Crop Effects Increasing Carbon Storage in a Subtropical no-till Sandy Acrisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 40, n. 9-10, p. 1499-1511, 2009.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 235-239, 1997.

BAZZAZ, F.A. 1979. The physiological ecology of plant succession. **Annual Review of Ecology and Systematics**, 10: 351-371.

BENZING, A. **Agricultura orgânica**. Villengen-Schwenningen: Neckar Verlag, 2001, p. 457.

BERGAMASCHI, H. et al. **Clima da Estação Experimental da UFRGS (e região de abrangência)**. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia da UFRGS, 2003. 78 p.

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M. **Agroclima da Estação Experimental Agronômica da UFRGS**. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia da UFRGS, 1990. 60 p.

BOAVENTURA NETTO, P. O. **Teoria e Modelos de Grafos**. E. Blucher, São Paulo, 1979.

BOAVENTURA NETTO, P.O.; JURKIEWICZ, S. **Grafos: Introdução e prática**. São Paulo: Editora Blucher, 2009.

BONINE, D.P.; JOÃO, P.L. **Estudo da cadeia produtiva dos citros no Vale do Caí/RS**. Informativo da EMATER/RS: Série realidade rural, Porto Alegre, v.29, 74p, 2002.

BORGES, A. L. et al. **Cultivo orgânico de fruteiras tropicais: manejo do solo e da cultura**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2003. 12p. (Circular Técnica, nº 64).

BRANDES, U.; ERLEBACH, T. (Eds.). **Network Analysis**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 431 p. (Boletim técnico, 30).

BRAUN-BLANQUET, J. **Fitosociologia; bases para el estudio de las comunidades vegetales**. 3.ed. Blume, Madrid, 1979. 820 p.

BREMAN, H.; KESSLER, J. J. The potencial benefits of agroforestry in the Sahel and other semi – arid regions. **European Journal of Agronomy**, v.7, p.25-33, 1997.

BRODT, S., KLONSKY, K., TOURTE, L. Farmer goals and management styles: implications for advancing biologically based agriculture. **Agricultural Systems**, v.89, p.90–105. 2006.

BULLUCK III, L.R.; et al. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. **Applied soil ecology**, v.19, p.147-160, 2002.

CABRERA, R. A. D. **Produção de mudas cítricas em viveiro: uso de substrato alternativo e inoculação com Xylella fastidiosa**. 2004. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - ESALQ, Piracicaba, 2004.

CALEGARI, A.; et al. **Aspectos gerais da adubação verde**. In: COSTA, M. B. B. da (Coord). Adubação verde no sul do Brasil. 2 ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. p.1-55.

CAMBARDELLA, C. A.; et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society American Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.

CAMPOS, B.C. de; et al. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.1, p.121-126, 1995.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.1153-1155, 2004.

CERDÀ, A.; et al. The use of barley straw residues to avoid high erosion and runoff rates on persimmon plantations in Eastern Spain under low frequency – high magnitude simulated rainfall events. **Soil Research**, v.5, n.2, p.154–165, 2016.

CHACOFF, N.P.; VA`ZQUEZ, D.P.; LOMASCOLO, S.B.; STEVANI, E.L.; DORADO, J.; PADRON, B. Evaluating sampling completeness in a desert plant–pollinator network. **J. Anim. Ecol.** V.81, p.190–200. 2012.

CHAPMAN, S.B. **Methods in plant ecology**. New York: J. Wiley, 1976. 526p.

COHEN, J. E.; SCHITTLER, D. N.; RAFFAELLI, D. G.; REUMAN, D. C. Food webs are more than the sum of their tritrophic parts. **Proceedings of the National Academy of Sciences U. S. A.** v.106, p.22335–22340, 2009.

COLEMAN, D.C.; et al. Trophic interactions in soils as they affect energy and nutrient dynamics. IV: Flows of metabolic and biomass carbon. **Microbial Ecology**, 4, 373–380. 1978.

COOK, D.J.; HOLDER, L.B. (Ed.). **Mining Graph Data**. Wiley-Interscience, New Jersey, 2006.

COOPPER, P.J.M.; et al. Agroforestry and the mitigation of land degradation in the humid and sub-humid tropics of Africa. **Experimental Agriculture**, 32, p.235-290. 1996.

COSTA, F. R. C. Mesoscale gradients of herb richness and abundance in central Amazonia. **Biotropica**, v.38, n.6, p.711-717. 2006.

COSTA, F. R. C. Structure and composition of the ground-herb community in a terra-firme Central Amazonian forest. **Acta Amazonica**, v.34, n.1, p.53-59. 2004.

COSTA, F. R. C.; MAGNUSSON, W. E.; LUIZÃO, R. C. Mesoscale distribution patterns of Amazonian understorey herbs in relation to topography, soil and watersheds. **Journal of Ecology**, v.93, n.5, p.863-878. 2005.

COSTA, L.D.F.; et al. Characterization of complex networks: a survey of measurements. **Advances in Physics**, v.56, p.167–242. 2007.

COSTA, M.B.B. (Coord.). **Adubação verde no Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro: Aspta, 1993. 346 p.

COSTANZA, R.; et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v.387, p.253–260. 1997.

CRECCHIO, C.; et al. Functional and molecular responses of soil microbial communities under differing soil management practices. **Soil Biology and Biochemistry**, v.36, n.11, p. 1873-1883, 2004.

CRESSIE, N.A.C. **Statistics for Spatial Data**. Wiley, New York, 1993. 900p.

CRESSIE, N.A.C., WIKLE, C.K. **Statistics for Spatio-Temporal Data**. Wiley, Hoboken, NJ, 2011. 624p.

CURTIS, J.T; MCINTOSH, R.P. The interrelations of certain analytic and synthetic phytosociological characters. **Ecology**, v.31, p.434-455, 1950

DALE, M.R.T., Fortin, M.-J. From graphs to spatial graphs. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v.41, p.21-38. 2010.

DECAGON DEVICES. **Measurement of leaf water potential using the wp4**. USA: Decagon devices, 2000. 70 p.

DECLERCK F.R.; et al. Biodiversity conservation in human-modified landscapes of Mesoamerica: past, present, and future. **Biological Conservation**, v.143, n.23, p.1–13, 2010.

DIDONÉ, E.J. **Modelagem de processos erosivos em uma bacia agrícola: limitações e possibilidades**. Tese (Doutorado em Ciência do solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2017. 118p.

DORÉ, T.; et al. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: revisiting methods, concepts and knowledge. **Eur. J. Agron.** V.34, p.197–210. 2011.

DORNELES, L. P. P.; NEGRELLE, R. R. B. Composição florística e estrutura do compartimento herbáceo de um estágio sucessional avançado da Floresta Atlântica, no sul do Brasil. **Biotemas**, v.12, n.2, p.7-30. 1999.

DRINKWATER, L.E.; et al. Fundamental differences between conventional and organic tomato agroecosystems in California. **Ecology Applied**, v.5, p1098–1112. 1995.

DRINKWATER, L.E.; WAGONER, P.; SARRANTONIO, M. Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. **Nature**, v.396 (6708), p.262–265, 1998.

DUDA, G. P.; et al. Perennial herbaceous legumes as live soil mulches and their effects on C, N and P of the microbial biomass. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 1, p. 139-147, 2003.

DURAIAPPAH, A.K.; NAEEM, S., AGARDY, T. (Eds.) **Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Wellbeing: Biodiversity Synthesis**. World Resources Institute, Washington, DC. 2005.

DURIGAN, J. C. **Controle químico de plantas daninhas na citricultura**. Jaboticabal, Ed. FUNEP/FCAV-UNESP, 1988, 32p.

DURIGAN, J. C.; TIMOSSI, P. C. **Manejo de plantas daninhas em pomares cítricos**. Bebedouro: EECB, 2002. 53 p.

EDMEADES, D.C. The long-term effects of manures and fertilisers on soil productivity and quality: a review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.66, n.2, p.165–180, 2003.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA/CNPS-RJ. Documentos 1).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

EWERS, R.M., DIDHAM, R.K. Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation. **Biological Reviews**. v.81, p.117–142. 2006.

FAO. **FAOSTAT**. [Database results]. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>> Acesso em: 20 mar. 2014.

FAO-Organizacion de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion. **Consulta de expertos sobre la avance de la agrofloresteria em zonas áridas y semiáridas da américa latina ey caribe**. Santiago, 1995, 152p. (Serie zonas Aridas y Semiaridas, n 1).

FERNANDES, D. R.; et al. (Ed.). **Cultura do café; fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986.

FERREIRA, E. B., CAVALCANTI, P. P., NOGUEIRA, D. A. **ExpDes.pt: Experimental Designs pacakge (Portuguese)**. R package version 1.1.2. 2013.

FOLLADOR, B. Portraying Soils and Compost: Color, Form, and Pattern. **In Context 34**, Nature Institute, 2015.

FÖRSTER, B.; et al. Ring testing and field-validation of a terrestrial model ecosystem (TME) - an instrument for testing potentially harmful substances: effects of carbendazim on organic matter breakdown and soil fauna feeding activity. **Ecotoxicology**, v.13, p.129-141, 2004.

FORTIN, M.-J.; DALE, M.R.T. **Spatial Analysis: A Guide for Ecologists**. Cambridge Univ. Press. 2005.

GAO, J.; LIU, Y. Determination of land degradation causes in Tongyu County, Northeast China via land cover change detection. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.12, p.9–16. 2010.

GARCÍA-ORENES, F.; et al. Soil structural stability and erosion rates influenced by agricultural management practices in a semi-arid Mediterranean agro-ecosystem. **Soil Use Manage**, v.28, p.571–579, 2012.

GARRITY D.P.; et al. Evergreen agriculture: a robust approach to sustainable food security in Africa. **Food Security**, v.2, p.197–214, 2010.

GENTRY, A. H.; EMMONS, L. H. Geographical variation in fertility, phenology, and composition of the understory of neotropical forests. **Biotropica**, v.19, n.3, p.216- 227. 1987.

GENZ, A.; BRETZ, F. **Computation of Multivariate Normal and t Probabilities**. Lecture Notes in Statistics, Springer-Verlag, Heidelberg. v.195, 2009.

GENZ, A.; et al. **mvtnorm: Multivariate Normal and t Distributions. R package version 1.0-6. 2017**. Disponível: <URL <http://CRAN.R-project.org/package=mvtnorm>> acesso 20/02/2017.

GIANELLO, C. & BREMNER, J.M. Comparison of chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen in soil. **Comm. Soil Sci and Plant Analysis**. v.17, p.216-236, 1986.

GIVNISH, T. J. **Biomechanical constraints on crown geometry in forest herbs**. In: GIVNISH, T. J. (Ed.). *On the economy of plant form and function*. Cambridge University Press, New York, p. 525-583. 1986.

GOEBEL, M.; et al. Significance of Wettability-Induced Changes in Microscopic Water Distribution for Soil Organic Matter Decomposition. **Soil Science Society of America Journal**, v.71, n.5, p.1593-1599, 2007.

GOEBEL, M.; WOCHÉ, S. K.; BACHMANN, J. Quantitative analysis of liquid penetration kinetics and slaking of aggregates as related to solid–liquid interfacial properties. **Journal of Hydrology**, v.63, n.74, p.442–443, 2012.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. 2.ed., Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

GORMLEY, L.H.L.; SINCLAIR, F.L. Modelaje participativo del impacto de los árboles en la productividad de las fincas y la biodiversidad regional en paisajes fragmentados en América Central. **Agroforestería en las Américas**, v.10, p.103-108, 2003.

GRANSTEDT ,A.; KJELLENBERG, L. **Skilleby long term field trial 1991-2010, Final report June 2011**. Biodynamic Research Institute, Järna-Sweden, 2011. 110p.

GREEN, V. S.; STOTT, D. E.; DIACK, M. Assay for fluorescein diacetate hydrolytic activity: Optimization for soil samples. **Soil Biology and Biochemistry**, v.38, n. 3, p.693-701, 2006.

GREIG-SMITH, P. **Quantitative plant ecology**. 3. ed. Oxford: Blackwell, 1983. 359p.

GRUPEX. **O cultivo dos citros no Rio Grande do Sul: referências tecnológicas**. Porto Alegre: FEPAGRO, 2005. 141 p.

GUBIANI, P. I.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Método alternativo para a determinação da densidade de partículas do solo – exatidão, precisão e tempo de processamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.2, p.664-668, 2006.

GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G. Avaliação inicial de algumas leguminosas herbáceas perenes para utilização como cobertura viva permanente de solo. Seropédica: Embrapa-CNPAB, 1997. 7 p (**Comunicado Técnico, 16**).

GÜMÜS, I.; ŞEKER, C. Influence of humic acid applications on modulus of rupture, aggregate stability, electrical conductivity, carbon and nitrogen content of a crusting problem soil. **Solid Earth**, v.6, n.4, p.1231–1236, 2015.

HAINING, R. **Spatial Data Analysis: Theory and Practice**. Cambridge University Press, Cambridge. 2003.

HARLEY, C.; et al. The impact of climate change in coastal marine systems. **Ecology Letters**, v.9, p.228-241. 2006.

HARVEY C.A.; et al. Integrating agricultural landscapes with biodiversity conservation in the Mesoamerican hotspot. **Conservation Biology**, v.22, p.8-15, 2008.

HÄTTENSCHWILER, S.; TIUNOV A. V.; SCHEU, A. S. Biodiversity and litter decomposition in terrestrial ecosystems. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v.36, p.191-218, 2005.

HONDEBRINK, M.A.; CAMMERAAT, L.H.; CERDÀ A. The impact of agricultural management on selected soil properties in citrus orchards in Eastern Spain: A comparison between conventional and organic citrus orchards with drip and flood irrigation. **Science of the Total Environment**. v.581/582, p.153–160, 2017.

IBGE. **Lavoura permanente**. Rio de Janeiro: IBGE. 2014. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/>>. Acesso em: 20 mar. 2014.

JØRGENSEN, S.E., BENDORICCHIO, G. **Fundamentals of Ecological Modelling**, 3rd ed. Elsevier, Oxford. 2001.

KESSTRA, S. D.; et al. The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. **SOIL**, v.2, p.111-128, 2016a.

KESSTRA, S.D.; et al. Effects of soil management techniques on soil water erosion in apricot orchards. **Science of the Total Environment**, v.551/552, p.357–366, 2016b.

KESSTRA, S.D.; GEISSEN, V.; MOSSE, K.; PIIRANEN, S.; SCUDIERO, E.; LEISTRA, M.; Van SCHAIK, L. Soil as a filter for groundwater quality. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v.4, n.5, p.507–516, 2012.

KENT, M.; COKER, P. **Vegetation description and analysis**. Baffins Lane: John Wiley & Sons, 1992. 363 p.

KHEMANI, D.; JOSEPH, M.M.; VARIGANTI, S. Case based interpretation of soil chromatograms. In: Althoff, H.D.; Bergmann, R. (Ed.). **Advances in case based reasoning**. Proceedings of the 9th European conference in case based reasoning; 2008 Sep. 1–4; Trier, Germany; p. 587–599. 2008.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of Soil Analysis**. I. Physical and mineralogical methods. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p. 635-662.

KOHLI, R.K.; SINGH, H.P.; BATISH, D.R.; JOSE, S. **Ecological interactions in agroforestry: an overview**. In: BATISH, D.R.; KOHLI, R.K.; JOSE, S.; SINGH, H.P. (eds.) **Ecological basis of agroforestry**. CRC Press, Boca Raton, p. 3-14. 2008.

KOKORNACZYK, M. O.; PRIMAVERA, F.; LUNEIA, R.; BAUMGARTNER, S. Analysis of soils by means of Pfeiffer's circular chromatography test and comparison to chemical analysis results. **Biological Agriculture and horticulture**. V.33, n.3, p. 1-15. 2016.

KOLISKO, E.; KOLISKO, L. N. K.. **Agriculture for tomorrow**. Publisher: AGOT, England. 1939. 390p.

KOLLER, O. C. **Citricultura: laranja, limão e tangerina**. Porto Alegre: Rígel, 1994. 446p.

KONG, C. H.; WANG, P.; XU, X. H. Allelopathic interference of *Ambrosia trifida* with wheat (*Triticum aestivum*). **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Zürich, v.119, n.3, p. 416-420, 2007.

KRATZ W. The bait-lamina test. General aspects, applications and perspectives. **Environmental Science and Pollution Research**, v.5, p.94-96. 1998.

KREBS, A. Levantamento fitossociológico da formação - mata do Morro do Coco. Viamão, RS., Brasil, **Iheringia**, Série Botânica, n.23, p.65-108, 1978.

LAITA, A.; KOTIAHO, J.S.; MONKKONEN, M. Graph-theoretic connectivity measures: what do they tell us about connectivity? **Landscape Ecology**. v.26, p.951-967. 2011.

LAITA, A.; KOTIAHO, J.S.; MONKKONEN, M. Graph-theoretic connectivity measures: what do they tell us about connectivity? **Landscape Ecology**. v.26, p.951-967. 2011.

LANDAIS, E.; DEFFONTAINES, J.P.; BENOIT, M. Les pratiques des agriculteurs. Point de vue sur un courant nouveau de la recherche agronomique. **Études rurales**, v.109, p.125-158. 1988.

LAVELLE, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. **Biology International**, v.33, p.3-16. 1996.

LEE, D. W. Canopy dynamics and light climates in a tropical moist decidual forest in India. **Journal of Tropical Ecology**, v.5, n.1, p.65-79. 1989.

LIU, B.; et al. Longterm effects of organic and synthetic soils fertility amendments on soil microbial communities and the development of southern blight. **Soil Biology & Biochemistry**. v.39, p.2302-2316. 2007.

LÜBKE, A. Highest quality compost to assure human, animal and environmental health. **Anais...** In: II International conference on soil and compost eco-biology, Puerto de la Cruz, Tenerife, 2008.

MARCOLIN, C.D. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas de solos sob plantio direto, na região de Passo Fundo-RS**. 2006. 92f. Dissertação (Mestrado) Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.

MARRIOTT, E.E.; WANDER, M.M. Total and labile soil organicmatter in organic and conventional farming systems. **Soil Science Society of America Journal**, v.70, n.3, p.950-959, 2006.

MARTINS, P. F. S.; et al. Consequences of clearing and tillage on the soil of a natural Amazonian ecosystem. **Forest Ecology and Management**, v.38, p.273-282, 1991.

MARTINS, V. M. Caracterização morfológica e da circulação hídrica dos solos da cabeceira de drenagem do córrego Bom Jesus no município de Cidade Gaúcha-PR. 2000. 135 p. **Dissertação (Mestrado em Geografia/FFLCH) - ESALQ**, São Paulo, 2000.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas do mundo: do neolítico à crise contemporânea**. Lisboa: Instituto Piaget, 2001.

MEBIUS, L. J. A rapid method for the determination of organic carbon in soil. **Analytica Chimica Acta**. V.22, p.120-124. 1960.

MEDA, A. R.; et al. Plantas invasoras para melhorar a eficiência da calagem na correção da acidez subsuperficial do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.3, p. 647-654, 2002.

MEIRA NETO, J. A. A.; MARTINS, F. R.; SOUZA, A. L. Influência da cobertura e do solo na composição florística do sub-bosque em uma floresta estacional semidecídua em Viçosa, MG, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v.19, p.473-486. 2005.

MENDONÇA, E. S.; et al. Carbono orgânico extraído por soluciones salinas y su relación con otras formas de carbono de suelos tropicales. **Agrociência**, Texcoco. v.35, n.4, p.397-406, 2001.

MENDONÇA, E. S.; et al. **Fatores edáficos de cafezais arborizados: processo de aprendizado contínuo com agricultores familiares**. In: ZAMBOLIM, L.; CAIXETA, E. T.; ZAMBOLIM, E. M. (Org.). Estratégias para produção de café com qualidade e sustentabilidade. 1ed. Viçosa - MG: Suprema Gráfica e Editora LTDA, v.1, p. 63-84. 2010.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E, S (Ed.). **Matéria orgânica do solo: Método de análises**. Viçosa: UFV. 2005. 77p.

MORAES, D. A.; GONÇALVES, L.; CORDEIRO, J. Estrutura do estrato herbáceo de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista em Guarapuava, PR. **Anais do IX Congresso de Ecologia do Brasil**, 13 a 17 de Setembro de 2009, São Lorenzo – MG. 2009.

MULDER, C.; et al., Chapter two - Connecting the green and brown worlds: allometric and stoichiometric predictability of above- and below-ground networks. **Advanced Ecological Research**, v.49, p.69–175. 2013.

MÜLLER, S. C.; WAECHTER, J. L. Estrutura sinusal dos componentes herbáceo e arbustivo de uma floresta costeira subtropical. **Revista Brasileira de Botânica**, v.24, n.4, p.395-406. 2001.

MÜLLER-SÄMANN, K. M. **Bodenfruchtbarkeit und standortgerechte landwirtschaft Landbau-Maßnahmen und Methoden im tropischen Pflanzenbau**. Eschborn: GTZ, n. 195, 1986, 559p.

MUÑOZ, G.; ALVARADO, J. Importancia de la sombra en el cafetal. **Agroforestería en las Américas**, v.4, p.25-29, 1997.

MUSCHLER, R.G. **Árboles en cafetales**. Turrialba, Costa Rica: Catie/ GTZ, 2000. 139p. (Módulo de enseñanza agroforestal, 5).

NAIR, P. K. R. **An introduction to agroforestry**. Dordrecht: Kluwer, 1993. 499p.

NAIR, P. K. R. Directions in tropical agroforestry research: past, presente, and future. **Agroforestry Systems**, Nairobi, v. 38, p. 223-245, 1998.

NAIR, P.K.R. Agroecosystem management in the 21st century: It is time for a paradigm shift. **Journal of Tropical Agriculture**, v.46, n.1-2, p.1–12, 2008.

NAIR, P.K.R.; GARRITY, D. Agroforestry research and development: the way forward. In: NAIR PKR, GARRITY D (eds.) **Agroforestry—the future of global land use**. Springer, Dordrecht, p. 515–531, 2012.

NEWMAN, M.E.J. Mixing patterns in networks. **Physical Review**, v.67, p.1-14. 2003.

NEWMAN, M.E.J. The Structure and Function of Complex networks. **Siam Review**, v.45, n. 2, p. 167–256. 2003.

OKSANEN, J.; et al. **Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.4-2**. 2017. Disponível <<https://CRAN.R-project.org/package=vegan>> acesso 12/05/2014.

OLIVEIRA, R. P. de; et al. Estado da arte da produção orgânica de citros no Rio Grande do Sul. In: **Produção orgânica de citros no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010. p. 30-39. (Sistema de produção n° 20).

OLSZEWSKI, N.; et al. Morfologia de agregados do solo avaliada por meio de análise de imagens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.901-909, 2004.

OSMAN, K.T. **Physical Properties of Forest Soils, Forest Soils: Properties and Management**, 217p., 2013.

PALMA, C. B.; INÁCIO, C. D.; JARENKOW, J. A. Florística e estrutura da sinúsia herbácea terrícola de uma floresta estacional de encosta no Parque Estadual de Itapuã, Viamão, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v.6, n.3, p.151-158. 2008.

PALMEIRA, P.R.T.; PAULETTO, E.A.; TEIXEIRA, C.F.A.; GOMES, A.S.; SILVA, J.B. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.189-195, 1999.

PARMESAN, C.; YOHE, G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. **Nature**, v.421, p.37–42. 2003.

PEREIRA G.M.R; CAMARA. M.A. Algumas Aplicações da Teoria dos Grafos. **FAMAT em Revista**, n.11. 2008.

PEREIRA, M. C. A.; CORDEIRO, S. Z.; ARAUJO, D. S. D. Estrutura do estrato herbáceo na formação aberta de *Clusia* do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, RJ, Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, v.18, n.3, p.677-687. 2004.

PEREIRA, W.; MELO, W. F. DE. **Manejo de plantas espontâneas no sistema de produção orgânica de hortaliças**. Brasília: Embrapa Café, 2008. 8 p. (Circula Técnica n° 62).

PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G. Cobertura do solo e acumulação de nutrientes pelo amendoim forrageiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 7, p. 791-796, 2003.

PERUCCI, P.; VISHETTI, C.; BATTISTONI, F. Rimsulfuron in a silty clay loam soil: effects upon microbiological and biochemical properties under varying microcosm conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, v.31, p.195-204, 1999.

PERUMAL, K.; VATSALA, T.M. **Utilization of local alternative materials in cow horn manure (BD 500) preparations: a case study on biodynamic vegetable cultivation**. Murugappa Chettiar Research Centre, Tharamani, Chennai, India. 2002.

PETRY, H. B.; OLIVEIRA, D.; SILVEIRA, A. O.; ANDREAZZA, R.; CAMARGO, F. A. O. Qualidade biológica do solo de sistemas de cultivo em pomares de *Citrus deliciosa*. **Ciência e Natura**, Santa Maria. v.34, n.1, p.63-79, 2012.

PFEIFFER, E. **Chromatography Applied to Quality Testing**. Bio-Dynamic Farming & Gardening Association, Incorporated, 1984. 44p.

PIETRZACKA, R. **Caracterização física e química de um Argissolo em área de citricultura orgânica com diferentes manejos da cobertura vegetal do solo**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFRGS, Porto Alegre, 2009. 106p.

PILON, L. C. **Atributos de um Argissolo Amarelo coeso sob cultivo de cafeeiro a pleno sol e consorciado com espécies arbóreas**. Dissertação (Mestrado) -Programa de Pós Graduação em Ciências do Solo, Vitória – ES, 2013. 104p.

PILON, L. C.; REICHERT, J. M.; JACQUES, R. J. S.; SILVA, I. C. L. da. Cromatografia de Pfeiffer: desenvolvimento de padrões brasileiros de uma metodologia para sistemas de agricultura orgânica. In: XX Congresso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. **Anais...** Cusco-Perú, XX Congresso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, 2014.

POCOCK, M. J. O.; EVANS, D. M.; MEMMOT, J. The Robustness and Restoration of a Network of Ecological Networks. **Science**, v.335, p. 973-977, 2012.

PODGAISKI, L.R.; SILVEIRA, F.S.; MENDONÇA, M.S.J. Avaliação da atividade alimentar dos invertebrados de solo em campos do sul do Brasil – Bait-lamina Test. **EntomoBrasilis**, v.4, n.3, p.108-113, 2011.

POST, E.; et al. Global population dynamics and hotspots of response to climate change. **Bio-Science**, v.59, p.489–497. 2009.

POULSEN, A. D. Species richness and density of ground herbs within a plot of lowland rainforest in north-west Borneo. **Journal of Tropical Ecology**, v.12, n.2, p.177-190. 1996.

PRIMAVESI, A. **Algumas plantas indicadoras: como conhecer os problemas de um solo**. 1ed. São Paulo: Expressão Popular, 2017. 48 p.

PRIMAVESI, A. **Algumas plantas indicadoras: como conhecer os problemas de um solo**, 1.ed. São Paulo: Expressão Popular, 2017, 48 p.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. 2017 Disponível: <URL <https://www.R-project.org/>> acesso em 18/05/2017.

RAFFAELLI, D.; WHITE, P.C.L. Ecosystems and their services in a changing world: an ecological perspective. **Advances in Ecological Research**, v.48, p.1–70. 2013.

RAUPP, J.; OLTMANNNS, M. Organically fertilized plants can manage water-limited growth conditions better than minerally fertilized plants, Results from Multi-year experiment. In: **Anais...**:17th Intern. Symp. Of CIEC, Cairo-Egypt, p.159-164, 2008.

RAUPP, J.; PEKRUN, C.; OLTMANNNS, M.; KÖPKE, U. (Eds). Long-term field experiments in organic farming. **Isifar Scientific Series 1**: Verlag Dr. Köster, Berlin, 2006.

RAYFIELD, B.; FORTIN, M.-J.; FALL, A. Connectivity for conservation: a framework to classify habitat network statistics. **Ecology**, v.92, p.847–858. 2011.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo – protótipos e teste. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1931-1935, 2006.

RESTREPO, J. G.; OTT, E.; HUNT, B. R. Approximating the largest eigenvalue of network adjacency matrices. **Physical Review E**, v.76, n.5, 2007.

RICHARDS, P. W. **The tropical rainforest: an ecological study**. New York: Cambridge University Press. 1952. 450 p.

RIVERA, J. R.; PINHEIRO, S. **Cromatografía: Imágenes de vida y destrucción del suelo**. Cali: Impresora Feriva, 2011, 252p.

RIVERA-HUTINEL, A.; BUSTAMANTE, R.O.; MARIN, V.H.; MEDEL, R. Effects of sampling completeness on the structure of plant–pollinator networks. **Ecology**, v.93, p.1593–1603. 2012.

ROCKSTRÖM, J. et al. Ecosystem services and dis-services to agriculture. **Ecological Economics**, v.64, p.253–260. 2007.

RÖMBKE, J.H.; HOFER, M.V.B.; GARCIA, C. Feeding activities of soil organisms at four different forest sites in Central Amazonia using the bait-lamina method. **Journal of Tropical Ecology**, v. 22, p. 313-320, 2006.

RÖMKENS, P.F.A.M.; Van Der PFLICHT, J.; HASSINK, J. Soil organic matter dynamics after the conversion of arable land to pasture. **Biology and Fertility of Soils**, v.28, p.277–284, 1999.

RONCHI, C. P.; SILVA, A. A. Effects of weed species competition on the growth of young coffee plants. **Planta Daninha**, Campinas, v. 24, n. 3, p. 415-423, 2006.

ROWE, E.; WERNER, H. **Plantas para adubação verde e cobertura do solo**. In: Curso sobre Agroecologia. EPAGRI, 2000 (Apostila - mimeografado).

SANCHEZ, P.A. Science in agroforestry. **Agroforestry Systems**, v.30, p.5-55, 1995.

SANTOS, C. V. dos. **Atributos físicos do solo e sistema radicular de bergamoteiras sob diferentes manejos de cobertura de entrelinhas do pomar**. Dissertação (Mestrado – Ciência do solo) – UFRGS, Porto Alegre, 2013.

SANTOS, H. G. et al. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

SCHERER, M.; DEIL, U. Floristische Diversität und Vegetationsstrukturen in traditionellen und modernen Kulturlandschaften untersucht aus Beispielen aus Chile und dem westlichen Mittelmeergebiet. **Zeitschrift Ökolog.u.Naturschutz**, v.6, n.1, 1998. p.19-31.

SCHERER, M.; DEIL, U. **Floristische Diversität und Vegetationsstrukturen in traditionellen und modern Kulturlandschaften untersucht aus Beispielen aus Chile und dem westlichen Mittelmeergebiet**. Jena: Zeitschrift Ökolog.u.Naturschutz, v.6, n.1, p. 19-31., 1997.

SCHERR, S.J.; MCNEELY, J.A. Biodiversity conservation and agricultural sustainability: towards a new paradigm of ‘ecoagriculture’ landscapes. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v.363, p.477–494. 2008.

SCHROTH, G; et al. Plant-soil interactions in multistrata agroforestry in the humid tropics. **Agroforestry Systems**, v.53, p.85-102, n.2, 2001.

SILVA, D.C.; et al. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. **Revista de Estudos Ambientais**, v.13, n.1, p.77-86, 2011.

SIX, J.; CONANT, R.T.; PAUL, E.A.; PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. **Plant Soil**, v.24, p.155–176, 2002.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys**. 2nd edition. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 436p. 1999.

SMALL, C. J.; MCCARTHY, B. C. Spatial and temporal variability of herbaceous vegetation in an eastern deciduous forest. **Plant Ecology**, v.164, n.1, p.37-48. 2002.

STEINER, R. **Agriculture Course: The Birth of the Biodynamic Method**. Rudolf Steiner Press: London. 175p. 2004.

STEVENSON, F.J. Humus chemistry. New York, John Wiley, 1982. 443p.

STOCKDALE, E. A.; et al. Soil fertility in organic farming systems – fundamentally different? **Soil use and Management**, v.18, p.301-308, 2002.

STRECK, E. V.; et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2ª Ed. EMATER/RS. 2008. 222p.

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; KAISER, D. R. Dispersion and flocculation of Vertisols, Alfisols and Oxisols in Southern Brazil. **Geoderma Regional**, v. 5, p. 64-70, 2015.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p. (Boletim Técnico, 5).

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. **Australian Journal of Soil Research**, v.17, n.3, p.429-441, 1979.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. **Australian Journal of Soil Research**, v.17, n.3, p.429-441, 1979.

TOLEDO, J. A.; KAMINSKI, J.; SANTANNA, M. A.; SANTOS, D. R. Tampão Santa Maria (TSM) como alternativa ao tampão SMP para medição da acidez potencial de solos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.2, p.427-435. 2012.

TOMICH, T. P. et al. Agroecology: A Review from a Global-Change Perspective. **Annual Review of Environment and Resources**, v.36, p.193–222, 2011.

TORMENA, C. A.; et al. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.6, p. 1023-1031. 2004.

TÖRNE, E. Assessing feeding activities of soil-living animals I. Bait-lamina-testes. **Pedobiologia**, v. 34, p. 89-101. 1990.

TREML, E.A.; et al. Modeling population connectivity by ocean currents, a graph-theoretic approach for marine conservation. **Landscape Ecology**, v.23, p.19–36, 2008.

VALLADARES, G. S.; et al. Análise das componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de organossolos e solos afins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.285-296, 2008.

VAN GESTEL, C. A. M.; KRUIDENIER, M.; BERG, M. P. Suitability of wheat straw decomposition, cotton strip degradation and bait-lamina feeding tests to determine soil invertebrate activity. **Biology and Fertility of Soils**, v.37, p.115–123, 2003.

VAN LEEUWEN, J. P.; et al. An ecosystem approach to assess soil quality in organically and conventionally managed farms in Iceland and Austria. **SOIL: European Geosciences Union**, v.1, p.83–101, 2015.

VIANA, J. L. Estrutura e composição da comunidade herbácea em um remanescente de Floresta Atlântica Submontana, no Agreste de Pernambuco. Universidade Federal de Pernambuco, **Dissertação Mestrado em Biologia**, 73 p., 2012.

WARDLE, D. A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: Hungria, M.; Araújo, R. S. (Ed.) **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Embrapa, 1994. p.419-436.

WASSERMAN, S.; FAUST, K. **Social Network Analysis**. Cambridge University Press, Cambridge, MA. 1994.

WASSERMAN, S.; FAUST, K. **Social network analysis: methods and applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.487-494, 2005.

WOODWARD, G.; BOHAN, D. (Eds.). **Ecological Networks in an Agricultural World**, Volume 49, 1 Ed. Academic Press: Dijon, France. 524 p. 2103.

YANAGIZAWA, Y. A. N. P.; MAIMONI-RODELLA, R. C. S. Composição florística e estrutura da comunidade de plantas do estrato herbáceo em áreas de cultivo de árvores frutíferas. **Planta Daninha**, v. 17, n. 3, 1999.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Comm. Soil Sci Plant Analysis*, v.19, p.1467-1476, 1988.

YIFRU, A.; TAYE, B. Effects of landuse on soil organic carbon and nitrogen in soils of bale, Southeastern Ethiopia. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v.14, n.1, p. 229-235, 2011.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil management**. 2nd ed. Nairobi: CAB Internacional, 1997. 320p.

ZÁCHIA, R.A. 2006. **Diferenciação de componentes herbáceos e arbustivos em florestas do Parque Nacional da Lagoa do Peixe, Tavares, Rio Grande do Sul**. 168 f. Tese (Doutorado em Botânica) - Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

ZALECKA, A. **Entwicklung und Validierung der Steigbildmethode zur Differenzierung von ausgewählten Lebensmitteln aus verschiedenen Anbausystemen und Verarbeitungsprozessen**, Dissertation, Universität Kassel. 290p., 2006.

ZALECKA, A.; et al. Standardization of the Steigbild method. **Biological Agriculture Horticulture**, v.27, p.41–57, 2010.

ZHANG, W.; RICKETTS, T. H.; KREMEN, C.; CARNEY, K.; SWINTON, S. M. Ecosystem services and dis-services to agriculture. **Ecological Economics**, v.64, p.253-260, 2007.

APENDICE

APÊNDICE 1- FICHA PARA DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DO SOLO

Projeto: Interações solo-cobertura em cultivo de citros

Perfil n°: Floresta acima do Saf 01

Classificação: ARGISSOLO Amarelo arênico*

Localização: Sítio Luis Laux, estrada Montenegro a Vapor Velho.

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: Descrito e coletado na bordadura da floresta, sob cobertura florestal, com 10% de declive.

Declive: 10%
 Altitude: 300m
 Material de origem: arenito botucatu
 Relevo: ondulado
 Erosão: ausente
 Drenagem: drenado
 Vegetação: floresta
 Uso atual: floresta regeneração
 Clima: Cfa (Classificação Köppen)
 Unidade de mapeamento: Vale do Caí
 Pedregosidade: Não pedregosa
 Rochosidade: Não rochosa
 Data: 21/04/2015
 Descrito por: Lucas, Alan, Eliara, Fabio, Jordano e Felipe.

A1 0-18 cm, cor 10YR 3/3; estrutura fraca maciça em blocos angulares e sub angulares médios que se desfaz em pequena; consistência solta, não plástica e não pegajoso; porosidade muito pequena; transição abrupta; presença abundante de raízes.

A2 18-55 cm, cor 10YR 3/6; estrutura maciça fraca em blocos angulares e sub angulares médios que se desfaz em pequena; consistência solta, não plástica e não pegajoso; porosidade muito pequena; transição clara; presença ligeiramente abundante de raízes.

EA 55-75 cm, cor 10YR 4/6, estrutura maciça fraca em blocos angulares e sub angulares médios que se desfaz em pequena; consistência solta, não plástica e não pegajoso; porosidade muito pequena; transição abrupta a plana; presença pouco abundante de raízes.

E 75-87 cm, cor 10YR 5/6, estrutura maciça fraca em blocos angulares e sub angulares médios que se desfaz em pequena; consistência solta, não plástica e não pegajoso; porosidade muito pequena; transição abrupta; presença pouca de raízes.

Bt 87-118+ cm, cor 2,5YR 4/4, estrutura maciça forte em blocos angulares e sub angulares médios; consistência muito firme, plástica e pegajoso; porosidade muito pequena; presença pouca de raízes.

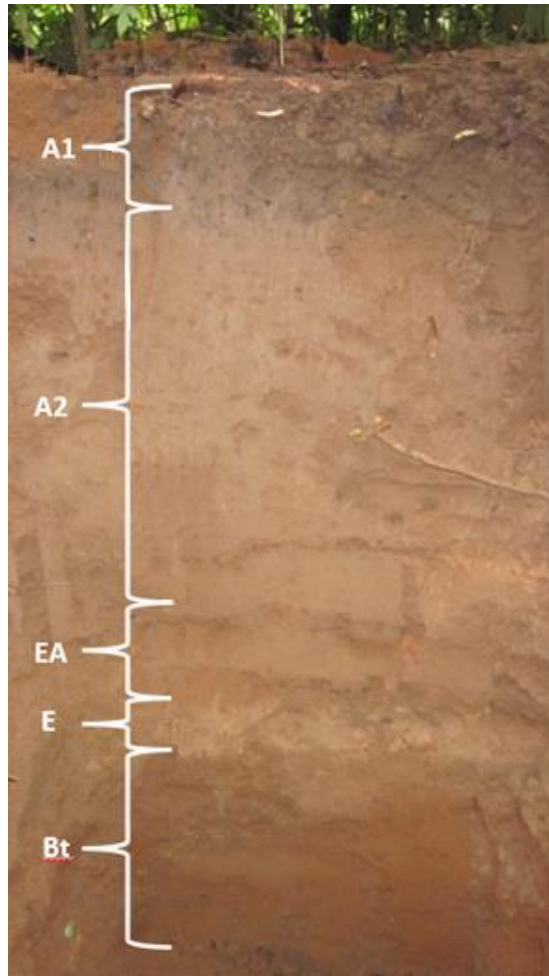
Tabela 19 - Características químicas e granulométricas do perfil.

Horizonte	Camada	p H	P	CTC pH7	CTC efetiva	COT	Areia	Silte	Argila
	metros		(mg dm ⁻³)	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	g dag ⁻¹	cm ³ cm ⁻³	cm ³ cm ⁻³	cm ³ cm ⁻³
A1	0-0,18	5,					0,867	0,045	0,087
		0	7,9	2,2	1,7	1,71			
A2	0,18-0,55	4,					0,860	0,099	0,041
		8	4,0	1,8	0,9	0,64			
EA	0,55-0,75	4,					0,864	0,046	0,091
		6	2,7	1,7	1,0	0,59			

E	0,75-0,87	4,6	3,4	1,7	0,9	0,46	0,912	0,046	0,042
Bt	0,87-1,18+	4,8	4,1	1,9	1,2	0,72	0,615	0,051	0,334

Fonte: Autor.

Figura 26 - Foto do perfil caracterizado em campo.

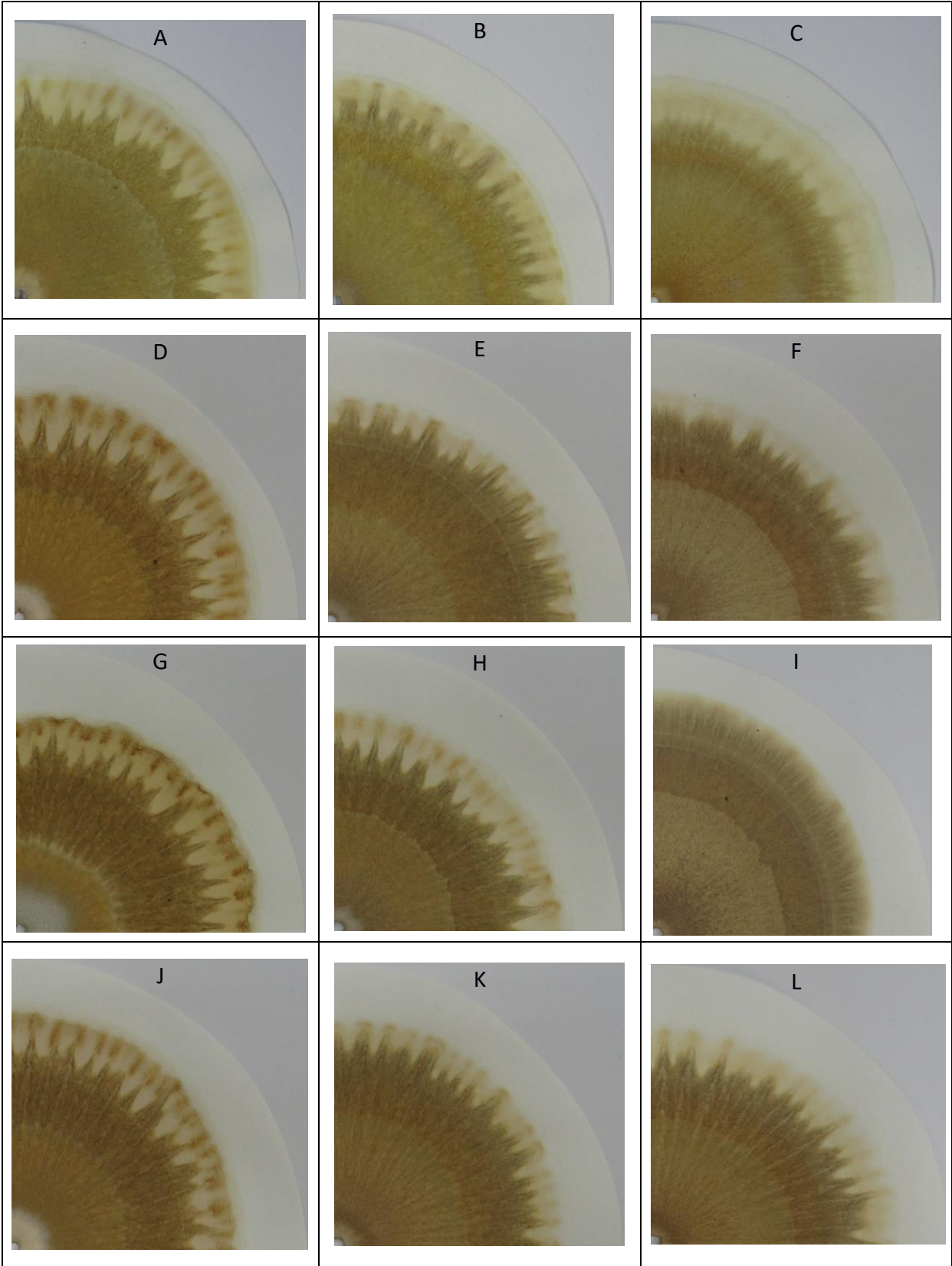


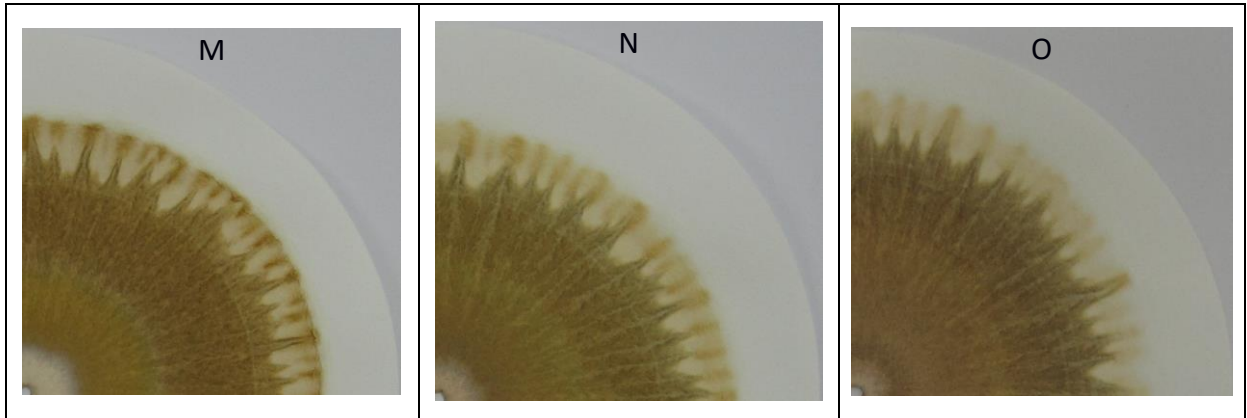
Fonte: Autor.

APÊNDICE 2 - CROMATOGRAFIAS SENSÍVEL DE PFEIFFER, IMAGENS REPRESENTATIVAS DA ESTAÇÃO 1.

A primeira coluna são análises referente a camada 0 a 0,05m, a segunda coluna camada 0,05 a 0,20 e a terceira coluna a camada 0,20 a 0,40. Imagens A, B e C-citros em cultivo convencional; D, E e F-citros em cultivo agroflorestal; G, H e I-citros em cultivo orgânico; J, K e L-floresta com 40 anos de regeneração; M, N e O-floresta com 200 anos de regeneração.

Continua



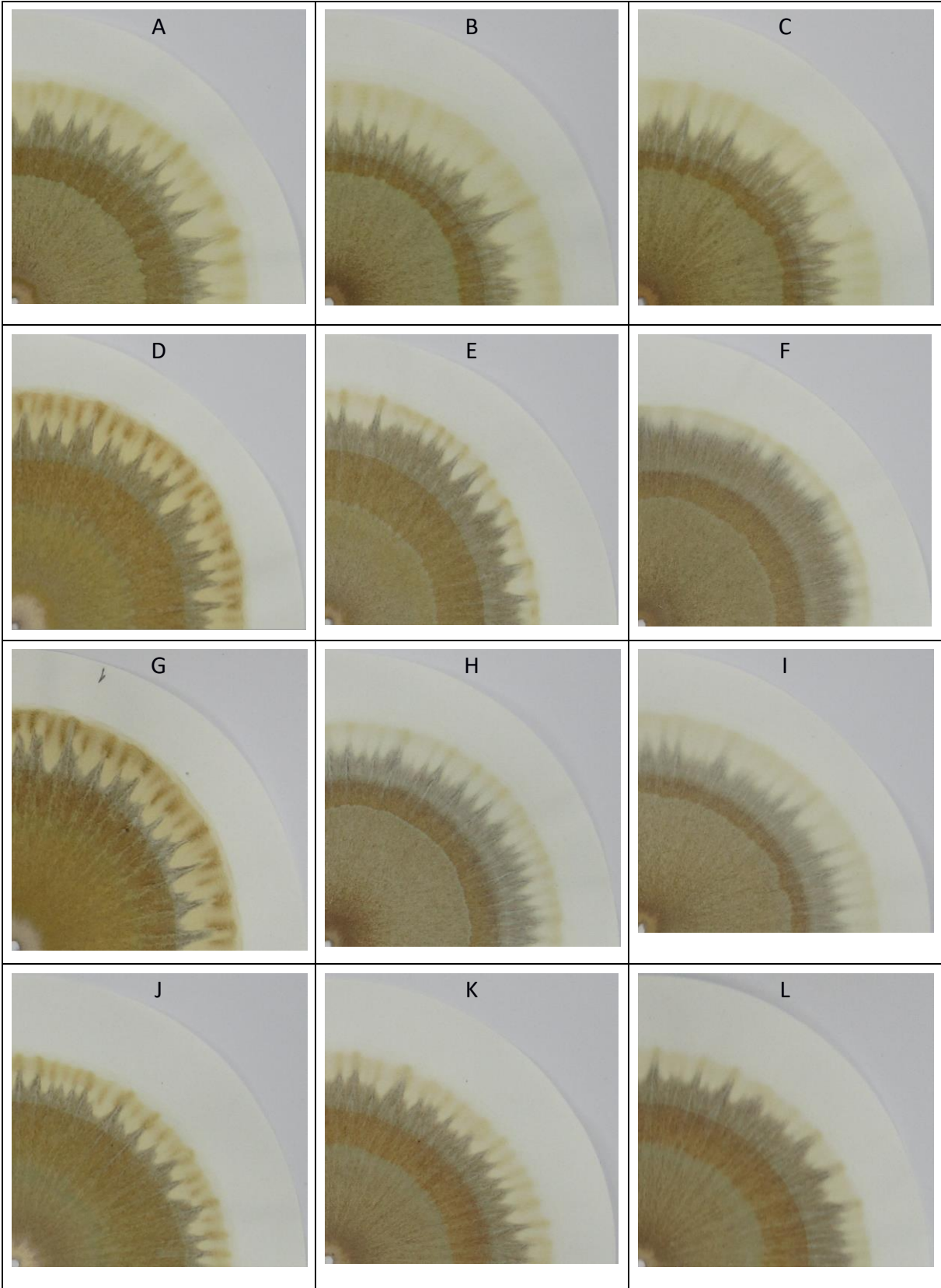


Conclusão

APÊNDICE 3 - CROMATOGRAFIAS SENSÍVEL DE PFEIFFER, IMAGENS REPRESENTATIVAS DO PERÍODO 3

A primeira coluna são análises referente a camada 0 a 0,05m, a segunda coluna camada 0,05 a 0,20 e a terceira coluna a camada 0,20 a 0,40. Imagens A, B e C-citros em cultivo convencional; D, E e F-citros em cultivo agroflorestal; G, H e I-citros em cultivo orgânico; J, K e L-floresta com 40 anos de regeneração; M, N e O-floresta com 200 anos de regeneração

Continua



Conclusão

APÊNDICE 4 - COMANDOS ESTATÍSTICOS UTILIZADOS NO SOFTWARE R

Anova e testes estatísticos

```
>library(ExpeDes.pt)
>dout<-read.table("c:\\dados\\arquivo.txt",head=T) # entrada de dados
>dout$epoca=as.factor(dout$epoca)
>dout$trat=as.factor(dout$trat)
>dout$prof=as.factor(dout$prof)
>attach(dout)
>dic(trat, resp, quali = TRUE, mcomp = "tukey", sigT = 0.05, sigF = 0.05) # executa teste
Shapiro-Wilk, anova e teste de médias
>dic(trat, resp, quant = TRUE, mcomp = "tukey", sigT = 0.05, sigF = 0.05)
>detach(micro)
>rm(list=ls()) # remove os objetos abertos na linha de trabalho
```

Teste normalidade multivariada Shapiro-Wilk

```
>library(mvtnorm)
>nome<-read.table("c:\\dados\\arquivo.txt",head=T)
>C <- t(nome.arquivo) mshapiro.test(C)
>R <- t(diff(t(log(C)))) mshapiro.test(R)
>dR <- t(diff(t(R))) mshapiro.test(dR)
>rm(list=ls())
```

Correlação Spearman

```
>nome<-read.table("c:\\dados\\arquivo.txt", head=T)
>dout$epoca=as.factor(dout$epoca)
>dout$strat=as.factor(dout$strat)
>dout$prof=as.factor(dout$prof)
>corr(dout, method="spearman"); round(corr(dout, method="spearman"), 4)
>detach(micro)
>rm(list=ls())
```

Análise de components principais

```
> library(vegan) # Para análises multivariadas
>nome<-read.table("c:\\dados\\nome.arquivo.txt",head=T, row.names=1) # primeira coluna de nomes
>pca<- prcomp(nome,scale=T) # scale=T codifica que a análise será realizada utilizando-se a matriz de correlação.
>apply(nome,2,var) # padronização
>pca # mostrar os desvios dos componentes principais e os loadings
>summary(pca) # Para mostrar a porcentagem de variância capturada por cada eixo
>biplot(pca, scaling=1, main="Análise de componentes principais", xlab="Componente 1 (%)", ylab="Componente 2 (%)")
```

Álgebra de Matriz

```
> dout<-read.table("c:\\dados\\matriz_1.txt",head=T, row.names=1)
> matriz=data.frame(dout)
> attach(matriz)
> eigen(matriz)
$values
$vectors
> ev=eigen(matriz)
> (values=ev$values)
> (vectors=ev$vectors)
> round(vectors, 5)
>rm(list=ls())
```

ANEXO 1 – LAUDO DO COMPOSTO ORGÂNICO ECOCITRUS

LAUDO DE ANÁLISES

NOME: ECOCITRUS

MUN.: MONTENEGRO

EST.: RS

Data de entrada: 10/10/14

Data de expedição: 12/11/14

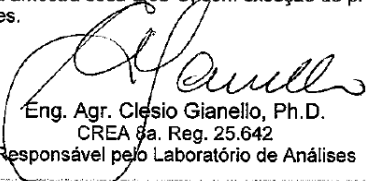
Nº DE REG.: R-304/2014

MATERIAL: FERTILIZANTE ORGÂNICO COMPOSTO CLASSE D - LOTE 3714

Determinações	Amostra 03	Metodologia aplicada / Limite de detecção
Umidade - % (m/m)	48	gravimetria / -
pH	8,8	relação amostra:água 1:5/potenciometria
Densidade - kg/m ³	580	-
Cond. Elétrica - dS/m	1,90	condutivimetria
Carbono orgânico - % (m/m)	20	combustão úmida/Walkey Black / 0,01%
Nitrogênio (TKN) - % (m/m)	1,7	Kjeldahl / 0,01 %
Fósforo total - % (m/m)	0,48	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Potássio total - % (m/m)	0,42	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cálcio total - % (m/m)	4,9	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Magnésio total - % (m/m)	0,48	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Enxofre total - % (m/m)	0,25	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,01 %
Cobre total - mg/kg	76	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,6 mg/kg
Zinco total - mg/kg	299	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Ferro total - % (m/m)	1,3	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 4 mg/kg
Manganês total - % (m/m)	0,12	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 4 mg/kg
Sódio total - % (m/m)	0,67	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 10 mg/kg
Cádmio total - mg/kg	< 0,2	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,2 mg/kg
Cromo total - mg/kg	200	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,4 mg/kg
Cromo hexavalente - mg/kg	< 1	digestão básica/ EAM, difenilcarbazida/ 1 mg/kg
Cromo trivalente - mg/kg	200	cálculo
Níquel total - mg/kg	96	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,4 mg/kg
Chumbo total - mg/kg	17	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Molibdênio total - mg/kg	1	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,2 mg/kg
Vanádio total - mg/kg	39	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 0,2 mg/kg
Arsênio total - mg/kg	< 2	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 2 mg/kg
Selênio - mg/kg	< 4	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 4 mg/kg
Bário total - mg/kg	171	digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES / 1 mg/kg
Boro total - mg/kg	28	digestão seca/ ICP-OES / 1 mg/kg
Mercúrio - mg/kg	0,04	digestão úmida EPA 7471 A/vapor frio / 0,01 mg/kg
CTC - mmol/kg	374	instrução normativa/MAPA nº 28 de 27/07/2007
Poder de neutralização - % (m/m)	12	volumetria de neutralização / 1 %

Obs.1: Resultados expressos na amostra seca a 65°C, com exceção do pH e densidade.

Obs.2: Média de 2 determinações.



 Eng. Agr. Cleisio Gianello, Ph.D.

 CREA ga. Reg. 25.642

 Responsável pelo Laboratório de Análises