

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE AGRONOMIA**

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**DISSERTAÇÃO**

**Fungos Micorrízicos Arbusculares e Matéria  
Orgânica do solo de um Módulo de Cultivo Intensivo  
de Hortaliças Orgânicas**

**Livia Bischof Pian**

**2015**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E MATÉRIA  
ORGÂNICA DO SOLO DE UM MÓDULO DE CULTIVO INTENSIVO  
DE HORTALIÇAS ORGÂNICAS**

**LIVIA BISCHOF PIAN**

*Sob orientação do professor*  
**Ricardo Luís Louro Berbara**

*e Co-orientação dos professores*  
**José Guilherme Marinho Guerra**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo.

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2015

635.04

P581f

T

Pian, Livia Bischof, 1991-

Fungos Micorrízicos Arbusculares e matéria orgânica em um módulo de cultivo intensivo de hortaliças orgânicas / Livia Bischof Pian – 2015.

58 f.: il.

Orientador: Ricardo Luis Louro Berbara.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo.

Bibliografia: f. 48-58.

1. Hortaliças – Cultivo – Teses. 2. Hortaliças – Nutrição – Teses. 3. Agricultura orgânica – Teses. 4. Fungos Micorrízicos – Teses. 5. Solos – Análise – Teses. I. Berbara, Ricardo Luís Louro, 1957-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO**

**LIVIA BISCHOF PIAN**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 23/02/2015.

---

Ricardo Luis Louro Berbara. Dr. UFRRJ  
(orientador)

---

Eliane Maria Ribeiro da Silva. Dr. Embrapa Agrobiologia

---

Ednaldo da Silva Araujo. Dr. Embrapa Agrobiologia

---

Orivaldo José Saggin Junior. Dr. Embrapa Agrobiologia

## AGRADECIMENTOS

À UFRRJ e ao curso de Pós-graduação em Agronomia - Ciência do Solo (CPGA-CS). Ao CNPq, FAPERJ e CAPES pela bolsa de estudos e financiamento dos projetos.

À família Mami Mary, Papi Cezar, Vó Nilda, Mana Tais, Mano Lucas, Mana postiza Rafa, Amora e todos os demais integrantes da Família Bischof Pian, que proporcionaram tudo de maravilhoso que há na minha vida, todo conforto, apoio e compreensão e que continuam me dando força para qualquer caminho que eu venha a seguir. São a base forte do meu ser e cada vitória minha é dedicada a vocês.

Ao orientador Ricardo Berbara pela condução nesta caminhada, pelo apoio, suporte e pelo exemplo de profissional ético.

Ao co-orientador José Guilherme pelos ensinamentos a todo o momento, conselhos e por mostrar a luz e a esperança da pesquisa aplicada... sempre em conjunto com sua fiel amiga e conselheira Lucia Helena.

Aos funcionários da Fazendinha pelo suor, dedicação, comprometimento, risadas, conselhos, críticas e alguns dedos: João, Juarez, Carol, Matheus, Luiz, Estevão, Zé Maria, Pedro, Oseas, Valério, Edmar, Marquinho e o grande mestre Isaias. Sem vocês nada disso seria possível, cada palavra espelha o trabalho de vocês.

À Gabi que me ensinou tudo sobre o Módulo a quem devo meu mestrado. Aos companheiros que me ajudaram no Módulo Hugo, Lucas, Pedro, Vitor.

Aos pesquisadores da Embrapa Agrobiologia Alessandra, Ednaldo, Espindola, Marco, Mariella e Segundo. Aos professores do departamento de solos da UFRRJ Gervásio e Lucia Helena (pela melhor disciplina), Erika, Marcos, Adelson, Segundo, Zonta, Abboud, Salmi, Anelise e ao grande Raul de Lucena.

Aos funcionários e analistas da Embrapa Agrobiologia Dione, Ivana, Ilzo, Naldo, Ernane, Geraldo e Principalmente Ernane Jardim por ter me trazido ao Rio de Janeiro e ter me ajudado nos primeiros passos que me levaram até aqui.

Aos amigos do laboratório de biologia do solo Camila, Beto, Andres, Ernane, Tati, Flávia, Junior, Jardel, Sael, Francly, Helen, que ensinaram e ajudaram com calma as análises desta dissertação. A super estagiária Graciane.

Aos amigos da pós que enfrentaram juntos as batalhas e revoltas que só a pós-graduação nos proporciona: Wilk, Barbara, Elias, Tiago, Izabela e Bruna.

À família alojamento que me ensinaram a compartilhar alegrias raivas, frustrações, o que é viver em conjunto, ao que é ser bem recebida e me mostraram que a vida é feita de despedidas e de muitos “até logo”: Carlinha, Cesinha e Estefanie, Irmãos Willian e Alisson, Pedro, Jander, Rosalba, Erika, Josimar, Marcio, Murilo e Renata, Silvana e Carlos, Leo Terra, Leo Shockness, Fabiano... E especialmente a Mariana e Paula (e Magu) com seu amor incrível, que quebraram meus preconceitos.

Aos amigos que passaram nesses 2 anos de caminhada, deixaram suas marcas e são sempre lembrados e reencontrados: Alessandro flecha, Fernando carioca, Bruno escalador, Cristian, Laura, Carol, Marcela da Colômbia, Lucas agroecólogo, Matheus e Diego de Alegre, Baraúna, Renata e Rafael (pais do alojamento), Sandra Pará, Aline Unes e Iris Paiva, minhas companheiras de quarto Patrícia e Viviane, Renata MG, Kandice, Raimunda, Julie e Julian (família colombiana), Oscar e Alejandra da Colômbia, Felizardo de Moçambique, Marcos do MS, Eder e Emerson gaúchos, aos argentinos, Cubanos, Rondonienses, Acreanos e a todos que estou esquecendo.

Finalmente a energia que pulsa dentro de cada um, que é compartilhado por todos que desejam o bem, que nos dá força para continuar, levantar e seguir buscando a mudança, para criarmos um futuro iluminado, onde a ciência e o ser humano deixarão de ser egoístas.

## RESUMO

Pian, Livia Bischof. **Fungos micorrízicos arbusculares e matéria orgânica do solo de um módulo de cultivo intensivo de hortaliças orgânicas**. 2015. 58f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

Este trabalho compreende parte de um estudo maior e tem como objetivo de avaliar a dinâmica de nutrientes, a matéria orgânica e fungos micorrízicos arbusculares do solo em um agroecossistema complexo. A área de estudo compreende um Módulo de cultivo intensivo de hortaliças orgânicas, implantado em 2010, com 1 ha, que tem a finalidade de replicar a realidade agrícola do estado do Rio de Janeiro. Este Módulo de cultivo está localizado no município de Seropédica-RJ, Brasil, no Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA), mais conhecido como “Fazendinha Agroecológica Km 47”. O sistema não apresenta aporte de insumos animais, metade da área apresenta cultivo intensivo de hortaliças e metade da área apresenta cultivo de espécies para produção de biomassa e culturas anuais, para manter a maior independência de insumos externos. A rotação de culturas prioriza o cultivo de hortaliças de março a outubro, principalmente folhosas, e de milho, quiabo e adubos verdes de novembro a fevereiro. Os atributos avaliados foram: textura, elevação, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, pH, carbono orgânico total, carbono das frações húmicas e fração leve, glomalina, densidade e diversidade de glomerosporos. A fim de avaliar o impacto de cada ciclo de cultivo, foram feitas 3 coletas de solo, a 1ª coleta em março de 2013, no momento do preparo do solo para início do plantio de hortaliças, a 2ª coleta em outubro/novembro de 2013, no fim do ciclo de hortaliças, e a 3ª coleta em março de 2014, no início de um novo ciclo de hortaliças. A geoestatística foi utilizada para apresentar a variabilidade espacial e temporal do sistema de produção complexo e testes de média feitos para comparar os sistemas de cultivo. Os resultados refletem o manejo intensivo durante o ciclo de hortaliças, os teores de N, P e K diminuíram ao longo do ano, ao contrário dos teores de Ca, Mg e do pH. O Carbono Orgânico do solo apresentou elevação após a 2ª coleta nas áreas com plantio de hortaliças, mas o balanço final do ano foi negativo. Dentre as substâncias húmicas, a humina foi superior às demais frações e os ácidos fúlvicos foram os que responderam mais ao manejo intensivo, sendo superior aos ácidos húmicos nestas áreas. A Glomalina total apresentou boa correlação com o carbono do solo, já a glomalina leve livre respondeu ao manejo intensivo diminuindo sua concentração após o ciclo de hortaliças, como os ácidos fúlvicos. Em relação à densidade de esporos, esta respondeu ao manejo intensivo, com altas densidades após o ciclo de hortaliças e baixas nas áreas com cultivo de brássicas e com menor incidência solar. Nas áreas de produção de biomassa e com plantio diversificado de hortaliças a diversidade foi mais elevada. Concluímos que o trabalho apresenta o efeito de diversas culturas e manejos sobre a matéria orgânica e comunidade de fungos micorrízicos, contribuindo para a discussão do impacto que sistemas de produção agroecológico causam sobre a qualidade do solo. A geoestatística se mostrou eficiente na análise espacial e temporal do agroecossistema, facilitando futuras tomadas de decisões.

**Palavras-chave:** indicadores de qualidade do solo, agricultura orgânica, variabilidade espaço-temporal.

## ABSTRACT

Pian, Livia Bischof. **Arbuscular mycorrhizal fungi and organic matter in a module of intensive organic vegetable production.** 2015. 58p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

This work comprises part of a larger study and aims to assess the dynamics of nutrients, organic matter and arbuscular mycorrhizal fungi on soil in a complex agro-ecosystem. The study area comprises an experimental module of intensive organic vegetable production, implemented in 2010, with 1 ha, which aims to replicate agricultural reality of Rio de Janeiro. This production module is located in Seropédica-RJ, Brazil, on “Fazendinha Agroecológica do Km 47”. The system does not present intake of animal inputs, half of the area has intensive production vegetables and half of the area has crop species for biomass production and annual cultures. Crop rotation prioritizes growing vegetables from March to October, especially hardwoods, and corn, okra and green manure from November to February. The evaluated parameters were: texture, elevation, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, pH, total organic carbon, carbon humic acids fractions and light fraction, glomalin, density and diversity of glomerospores. In order to assess the impact of each crop cycle, there were three samplings, the first collection in March 2013, at the time of preparation of soil for early sowing vegetables, the second collection in October / November 2013, at the end of cycle vegetables, and the third collection in March 2014, new beginning cycle of vegetables. The geostatistics was used to display the spatial and temporal variability of the complex production system and mean tests were to compare cropping systems. The results reflect the intensive management performed during the vegetable cycle, the N, P and K decreased on the year, unlike Ca, Mg and pH. Carbon Organic soils showed an increase after the second collection in areas with planting vegetables, but the final balance of the year was negative. The humin was the top fractions and fulvic acids were fraction who reflect the intensive management, higher than the humic acids in these areas. The total Glomalin showed good correlation with soil carbon. The easily extractable glomalin reflect the intensive management decreasing its concentration after the vegetable cycle. Regarding the spore density, responded to this intensive management, with high densities after the vegetable cycle. The highest densities were noted in the areas with the lowest fertility rates. However, the diversity of spores was less in these areas, with greater redundancy species. In areas with diverse planting vegetables diversity was higher. We conclude that the work shows the effect of different cultures and managements on organic matter and mycorrhizal fungi community, contributing for discussion of impact that agroecological production systems have on soil quality. A geostatistics is efficient for spatial analysis and temporal agro-ecosystem, facilitating future decision making.

**Keywords:** soil quality indicators, organic agriculture, spatial and temporal variability.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Espécies cultivadas no Módulo de cultivo intensivo de hortaliças orgânicas, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense.....	12
<b>Tabela 2.</b> Rotação de cultivos nos anos de 2013 e 2014, no Módulo de cultivo intensivo de hortaliças orgânicas, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense.....	13
<b>Tabela 3.</b> Estatística descritiva dos atributos do solo avaliados nas 1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> (2013) e 3 <sup>a</sup> (2014) coletas no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense. ....	19
<b>Tabela 4.</b> Teores de Glomalina Facilmente Extraível (GFE), Glomalina Total (GT), Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio (N), pH, Potássio (K), Cálcio (Ca) em 6 subsistemas na 1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> (2013) e 3 <sup>a</sup> (2014) coletas no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica. ....	20
<b>Tabela 5.</b> Coeficientes de correlação linear de Pearson (r) entre os atributos na 1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> (2013) e 3 <sup>a</sup> (2014) coletas no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense.....	22
<b>Tabela 6.</b> Características dos semivariogramas dos atributos avaliados na 1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> (2013) e 3 <sup>a</sup> (2014) coletas no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, baixada Fluminense....	23
<b>Tabela 7.</b> Teores de carbono orgânico total (COT), carbono da fração ácido húmico (C-FAH), carbono da fração ácido fúlvico (C-FAF), carbono da fração humina (C-HU) e carbono da fração leve-livre (C-FLL) nos diferentes subsistemas e na 1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> (2013) e 3 <sup>a</sup> (2014) coleta no Módulo de cultivo.....	37
<b>Tabela 8.</b> Ocorrência e riqueza de espécies de FMA nos 6 subsistemas no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense.....	44



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Semivariograma experimental (Guedes Filho, 2009). .....	8
<b>Figura 2.</b> Croqui do Módulo de Cultivo Intensivo de Hortaliças Orgânicas, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense. ....	11
<b>Figura 3.</b> Composto fermentado do tipo “Bokashi” (a)(b) e cobertura vegetal sobre canteiros de hortaliças (c)(d) em 23/07/2014, no Módulo de cultivo intensivo de hortaliças orgânicas, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense. ....	14
<b>Figura 4.</b> Visual dos subsistemas Policultivo (A), Telado (B), Tomate/quiabo (C), Couve (D) Capineira (E) e Gliricídia (F) em 14/07/2014, no Módulo de cultivo intensivo de hortaliças orgânicas, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense. ....	15
<b>Figura 5.</b> Módulo de Cultivo Intensivo de Hortaliças Orgânicas com destaque para os pontos de coleta georreferenciados num grid quadrado. ....	16
<b>Figura 6.</b> Semivariogramas Experimentais dos 32 atributos de solo avaliados na 1ª, 2ª (2013) e 3ª (2014) coletas no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense.* Eixo x = Distância (metros); eixo y = semivariância. ....	24
<b>Figura 7.</b> Mapas de variabilidade espacial de Elevação e Argila no ano de 2013 no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense. ....	26
<b>Figura 8.</b> Mapas de variabilidade espacial de pH na 1ª, 2ª (ano de 2013) e 3ª (2014) coletas no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense. ....	27
<b>Figura 9.</b> Mapas de variabilidade espacial de teores de fósforo na 1ª, 2ª (2013) e 3ª (2014) coletas no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica. ....	29
<b>Figura 10.</b> Mapas de variabilidade espacial de teores de potássio na 1ª, 2ª (2013) e 3ª (2014) no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense. ....	30
<b>Figura 11.</b> Mapas de variabilidade espacial de teores de Cálcio e Magnésio na 1ª, 2ª (2013) e 3ª (2014) no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica. ....	32
<b>Figura 12.</b> Mapas de variabilidade espacial de teores de nitrogênio na 1ª, 2ª (2013) e 3ª (2014) no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica. ....	33
<b>Figura 13.</b> Mapa de variabilidade espacial de Carbono Orgânico Total (COT) na 1ª, 2ª (ano de 2013) e 3ª (2014) e diferença espaço temporal entre a 1ª e 3ª coleta no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense. ....	35
<b>Figura 14.</b> Mapas de variabilidade espacial de glomalina facilmente extraível na 1ª, 2ª (ano de 2013) e 3ª (2014) no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense. ....	39
<b>Figura 15.</b> Mapa de variabilidade espacial de glomalina total (GT) da 1ª, 2ª (ano de 2013) e 3ª (2014) no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense. ....	40
<b>Figura 16.</b> Variabilidade espaço temporal de Glomalina Facilmente Extraível e Glomalina Total entre a 3ª e 1ª coleta no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense. ....	41
<b>Figura 17.</b> Mapa de variabilidade espacial de densidade de glomerosporos da 1ª, 2ª (ano de 2013) e 3ª (2014), no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense. ....	42
<b>Figura 18.</b> Densidade de Glomerosporos nos diferentes subsistemas e na 1ª, 2ª (2013) e 3ª (2014) coleta no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense. ....	43

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	2
2.1. Sustentabilidade e Qualidade Do Solo .....	2
2.2. Indicadores de Qualidade do Solo.....	3
2.2.1. Matéria orgânica do solo .....	4
2.2.2. Fungos micorrízicos arbusculares .....	5
2.3. Variabilidade Espacial, Temporal e Geoestatística .....	6
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
3.1. Caracterização da Área.....	10
3.3. Georreferenciamento .....	16
3.4. Coletas .....	16
3.5. Análises Químicas e Físicas .....	17
3.6. Matéria Orgânica do Solo.....	17
3.7. Determinação das Variáveis Micorrízicas .....	17
3.8. Estatística Descritiva .....	18
3.9. Geoestatística.....	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	19
4.1. Estatísticas Descritivas dos Atributos do Solo .....	19
4.2. Análise Geoestatística.....	23
4.3. Variabilidade Espacial dos Atributos .....	26
4.3.1. Elevação e argila.....	26
4.3.2. Potencial hidrogênionico .....	27
4.3.3. Fertilidade do solo .....	28
4.3.4. Matéria orgânica do solo .....	34
4.3.5. Proteína do solo relacionada ao Bradford (glomalina).....	38
4.3.6. Densidade e diversidade de glomerosporos.....	41
5. CONCLUSÕES .....	46
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	47
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	48

## 1. INTRODUÇÃO

Sistemas de cultivo que associem alta produtividade com menores impactos ambientais e sociais são ideais, pois respeitam os fundamentos da sustentabilidade. Sustentabilidade pode ser definida como a capacidade de um sistema ser produtivo sem comprometer as condições que tornam possível este processo. No caso de sistemas agrícolas, consiste na capacidade de produzir alimento, energia e fibras sem comprometer o acesso das gerações futuras dos recursos produtivos. Ou seja, está intimamente ligada a preservação ambiental.

Muitos sistemas de produção atuais são tidos como sustentáveis, baseados em indicadores e comparações entre sistemas. Neste sentido, algumas perguntas são frequentemente formuladas: Pode ser afirmado que um sistema é mais sustentável que outro baseado em alguns indicadores? Estes indicadores são confiáveis e refletem a complexidade do sistema? Estes indicadores podem prever impactos ao meio ambiente e os efeitos das práticas agrícolas?

O primeiro ponto a ser analisado é a maneira como a pesquisa é comumente planejada para responder a estas perguntas. Em geral, são executados experimentos em ambientes controlados e com poucas variáveis, a fim de diminuir as interferências ambientais sobre os resultados. Com resultados em mão, são feitas extrapolações para sistemas de produção reais, mas que em geral não refletem a realidade de um sistema de produção. Vale considerar que métodos estatísticos comumente utilizados desconsideram as variáveis espacial e temporal.

O segundo ponto são os indicadores empregados. Sabe-se a dificuldade em encontrar um indicador que seja abrangente, replicável e de fácil mensuração. Quando se trata de indicadores biológicos mais dificuldades são adicionadas, tendo em vista a complexidade dos seres vivos. Parte dos estudos é dedicada a cada classe de organismos especificamente, outros se dedicam a estudar indicadores de atividade dos organismos. Indicadores que reflitam a complexidade do solo são ideais, na tentativa de entender sistemas complexos de produção.

Para responder a algumas das perguntas formuladas, abrangendo os pontos destacados, formulamos este estudo. O objetivo foi avaliar espacial e temporalmente a dinâmica da população dos fungos micorrízicos arbusculares e o conteúdo de matéria orgânica e nutrientes do solo de um Módulo de cultivo intensivo de hortaliças orgânicas nas condições da Baixada Fluminense. Os objetivos específicos foram: a) determinar o conteúdo de substâncias húmicas, fração leve, carbono e nitrogênio total, fósforo disponível e potássio, cálcio e magnésio trocáveis de um solo submetido ao manejo orgânico; b) determinar o conteúdo de glomalina e da população de fungos micorrízicos arbusculares de um solo submetido ao manejo orgânico; e c) demonstrar através da geostatística a distribuição espacial e temporal do conteúdo de nutrientes, matéria orgânica, glomalina e fungos micorrízicos arbusculares do solo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Existe uma crescente busca por sistemas integrados e diversificados para enfrentar os problemas da produção de alimentos em pequena escala, particularmente nos ambientes menos favoráveis, heterogêneos e dinâmicos, os quais contribuem de maneira substancial com a segurança alimentar (Tittonell et al., 2007). Menos dependentes de insumos externos, os sistemas integrados e diversificados combinam cultivos intensivos e recuperadores, espécies anuais e perenes, oferecendo consideráveis oportunidades para a intensificação sustentável dos agroecossistemas e a eficiência do uso dos recursos naturais, da água, nutrientes e energia (Giller et al., 2006).

Existem diversos argumentos científicos que mostram que a diversidade de cultivos nos sistemas agrícolas favorece a estabilidade, ao promover canais alternativos para o fluxo de energia, nutrientes e biodiversidade pelo ecossistema (Altieri & Nicholls, 2007). Pode-se dizer que todo agroecossistema apresenta um conjunto de interações entre os elementos que compõem a biodiversidade, que determinam a saúde do sistema (Altieri & Nicholls, 2000).

A agroecologia é a ciência que estuda a estrutura e função dos agroecossistemas tanto do ponto de vista de suas relações ecológicas como culturais, com a finalidade de melhorar os sistemas agrícolas (Gliessman, 2007). Para unir a produção com a conservação, a agroecologia propõe a conversão dos sistemas, mediante a integração e diversificação de unidades produtivas, executando desenhos e manejos complexos de cultivo. (Altieri & Nicholls, 2007). A biodiversidade é um atributo básico para a produção agropecuária sustentável (Gliessman, 1999). Entender a dinâmica de sistemas complexos de produção, o efeito das práticas agrícolas e métodos para melhorar o funcionamento destes sistemas são objetivos de diversos estudos desenvolvidos.

### 2.1. Sustentabilidade e Qualidade do Solo

O solo é um material altamente complexo que abriga um dos mais importantes reservatórios de biodiversidade do planeta (Roesch et al., 2007). Portanto, é fundamental inseri-lo no contexto da sustentabilidade. Sustentabilidade agrícola é definida como a capacidade de um sistema agrícola produzir alimentos, energia e fibras sem comprometer as condições que tornam possível este processo de produção (Gliessman, 2000). Já a Qualidade do Solo (QS) se refere à integração de processos no solo e propicia a estimativa das alterações de sua condição ou da capacidade que tem o solo de funcionar ou não adequadamente (Karlen et al., 1997), assim como base de uma agricultura sustentável, a qualidade do solo deve servir de indicador para o manejo sustentável de terras (Herrick, 2000).

Para entendimento da QS e como as propriedades do solo influenciam na estabilidade do solo, vale compreender alguns conceitos. Estabilidade compreende a resistência, habilidade de resistir a perturbações ou estresses, e a resiliência, habilidade de recuperar sua integridade funcional após um distúrbio (Van Bruggen & Semenov, 2000). Segundo Griffiths et al. (2004), a estabilidade funcional do solo é garantida pela inerente redundância funcional presente na diversidade microbiana, onde o efeito do estresse ou distúrbio depende do nível de especificidade de funções (Chaer et al., 2009). As populações que compõem a diversidade, podem atuar como substitutos funcionais, assegurando que algumas funções do solo não específicas sejam sustentadas independentemente das mudanças ambientais (Van Bruggen & Semenov, 2000). Um solo que apresenta alta redundância de funções devido a sua diversidade provavelmente é capaz de manter em equilíbrio os processos ecológicos, mesmo sob um distúrbio.

Vezzani & Mielniczuk (2011), estudando sistemas agrícolas com diferentes manejos de solo e diversidade de cultivos, afirmam que para um sistema atingir ou manter a QS é preciso favorecer o nível alto de complexidade de cultivos. Para isso, devem-se buscar práticas de manejo que promovam o aporte contínuo e diversificado de material vegetal, via cultivo de plantas e o não revolvimento do solo. Ainda, Vezzani et al. (2002) acreditam que o grande desafio da QS não está na identificação de um indicador e na avaliação dele, mas no planejamento de agroecossistemas complexos que priorizem o cultivo diversificado de plantas. Esta complexidade faz diferença no desempenho eficiente das funções do sistema solo.

## **2.2. Indicadores de Qualidade do Solo**

Existem diversos parâmetros utilizados para caracterizar a sustentabilidade de um sistema produtivo, entre eles o uso de indicadores de qualidade de solo tem sido amplamente estudado (Mendes & Reis, 2004). Segundo Doran & Parkin (1994), indicadores devem seguir os seguintes critérios: 1) envolver processos ocorrentes no ecossistema, 2) integrar propriedades e processos físicos, químicos e biológicos, 3) ser acessível e aplicável no campo, 4) ser sensível a variações de manejo e de clima, e 5) ser componente de banco de dados de solos, sempre que possível.

A avaliação direta das propriedades do solo parece ser a forma mais adequada de medir ou monitorar a sua conservação ou qualquer processo de degradação em curso (Burger, 1996). Nesse contexto, a avaliação da qualidade do solo tem sido proposta como um indicador integrado da qualidade do ambiente e da sustentabilidade da produção agrícola ou florestal.

Identificar indicadores que atendam a conceito de QS é difícil devido às várias características químicas, físicas e biológicas que controlam os processos biogeoquímicos e suas variações em decorrência do tempo e espaço (Mendes & Reis, 2004). Assim, um conjunto de indicadores deve ser selecionado para melhor quantificar sua qualidade (Vezzani & Mielniczuk, 2009).

A matéria orgânica do solo (MOS) é considerada por muitos o melhor indicador de QS, uma vez que regula diversos processos que ocorrem no sistema solo, além de melhorar diversas características que atuam sobre a produtividade agrícola. Regula a disponibilidade dos elementos químicos presentes no solo, melhora a adsorção destes nas partículas minerais do solo. Sua dinâmica depende de diversos fatores entre eles os conteúdos de argila e areia dos solos, clima, relevo, tipo de solo, estrutura do solo. Estudos sobre a manutenção e formação de MOS em regiões de clima tropical tem evoluído enormemente nos últimos anos.

De forma paralela e complementar aos estudos de matéria orgânica estão os indicadores biológicos, que atuam como indicadores da vida do solo e que intermediam os processos que ocorrem no sistema solo. A alta sensibilidade das variáveis biológicas, quando comparado as de natureza física e química, tem sido relatada como uma vantagem no seu uso como indicador de QS (Kaschuk et al., 2010). Conforme destacado por Totola & Chaer (2002) as dificuldades na interrelação dos indicadores biológicos de qualidade, ou seja, da avaliação dos valores levantados como indicadores da QS, constituem um dos grandes obstáculos a serem transpostos nas avaliações de qualidade do solo. Cenário agravado, uma vez que a base de informações biológicas disponível ainda é pequena (Mendes & Reis, 2004).

Recomenda-se cada vez mais, a inclusão da variável microbiana em um conjunto mínimo de indicadores, pois contribui para uma previsão rápida das mudanças no status de conservação dos solos sobre diferentes atividades agrícolas (Fernandes et al., 2011). Principalmente em experimentos onde se avaliam diferentes práticas de manejo, pois permite

a avaliação precoce de eventuais efeitos adversos do manejo sobre a qualidade do solo, o que permitiria a adoção antecipada de medidas corretivas ou de controle.

### 2.2.1. Matéria orgânica do solo

A Matéria orgânica do solo (MOS) numa visão simplificada pode ser dividida em dois compartimentos, a fração lábil (biodegradável e leve) e a fração humificada (estável e pesada) (Theng, 1989). A matéria orgânica representa a principal reserva de carbono terrestre, de forma que o carbono tem papel fundamental nas funções que a matéria orgânica exerce sobre as propriedades do solo, sendo utilizado como quantificador da MOS (Nascimento et al., 2010). A fração lábil representa aproximadamente 1/3 do carbono orgânico do solo e a fração humificada representa 2/3 do carbono orgânico do solo.

As diferentes frações de carbono orgânico do solo apresentam características químicas, físicas e morfológicas distintas, e a distribuição destas pode indicar a qualidade da matéria orgânica (Canellas et al., 2003). A fração humificada da matéria orgânica, também chamada de substâncias húmicas, são mais estáveis e permanentes no solo (Wiesniewski, 2009). Consideradas indicativas dos processos e do grau de humificação da MOS, são subdivididas quimicamente em três constituintes principais:

- 1) Fração ácidos fúlvicos: Solúvel em qualquer valor de pH da solução, constituídos principalmente de polissacarídeos, aminoácidos, compostos fenólicos, etc, de peso molecular baixo e com grupos carboxílicos.
- 2) Fração ácidos húmicos: Solúvel em meio alcalino e insolúvel em meio ácido. Formado por polímeros de compostos aromáticos e alifáticos com elevado peso molecular e grande capacidade de troca catiônica.
- 3) Fração humina: Insolúvel e que permanece ligada a matriz mineral do solo, composta por macromoléculas estáveis e intimamente ligadas aos colóides do solo. Sendo a fração mais estável.

Valles (2006) verificou que a estabilidade das substâncias húmicas está relacionada à inacessibilidade delas aos microrganismos do solo por proteção devido à interação com os colóides inorgânicos do solo, do que com a estabilidade química de sua estrutura.

Embora seja possível isolar, a partir do solo, as três frações fundamentais das substâncias húmicas, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas, as duas primeiras tem sido alvo de estudo na maioria das publicações científicas que avaliam suas funções. As características estruturais destas frações variam de acordo com sua fonte de origem e o tempo de transformação ou formação que a matéria orgânica tem tido nessa fonte (Garcia, 2011).

O fracionamento químico separa a matéria orgânica de acordo com sua solubilidade e estabilidade, porém não tem se mostrado indicativo eficiente para alterações na matéria orgânica decorrida de manejos realizados no solo (Cambardella & Elliott, 1992; Christensen, 1992). Para entendimento da resposta rápida da matéria orgânica, existe uma forte tendência em se adotarem métodos físicos para o fracionamento da MOS (Stevenson & Elliott, 1989; Cambardella, 1997; Christensen, 1992). Dentro dos métodos físicos de separação, podem ser usados métodos granulométricos (separação mediante uso de peneiramento) ou densimétrico (separação mediante uso de soluções densas) (Conceição, 2014; Roscoe & Machado, 2002). Os métodos físicos são relacionados com a função e estrutura da MOS *in situ* (Christensen, 1992; Feller & Beare, 1997), podem ser densimétricos ou granulométricos, ou uma combinação de ambos.

O método densimétrico baseia-se na diferença de densidade entre a fração orgânica e a mineral. A densidade dos minerais do solo geralmente excede  $2 \text{ g cm}^{-3}$ , enquanto a de compostos orgânicos é inferior a  $1,5 \text{ g cm}^{-3}$  (Gregorich et al., 1995). A flotação em líquidos com alta gravidade específica permite a separação da MOS em frações com densidades menores e maiores

que a da solução utilizada. Tais frações são denominadas, respectivamente, leve e pesada (Gregorich et al., 1995).

Identificar os mecanismos de estabilização da MOS é essencial para avaliar o potencial de degradação de cada sistema de manejo adotado. A estabilização da MO, seja pela menor acessibilidade dos microrganismos (proteção física), ou pela formação de complexos estáveis entre a fração orgânica e a mineral (proteção química) é fundamental para a preservação dos estoques de COS (Roscoe & Machado, 2002), assim como tem grande importância para a agregação do solo.

### **2.2.2. Fungos micorrízicos arbusculares**

Os Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) pertencem ao filo Glomeromycota e são simbioses de raízes de plantas que agregam outra dimensão ao sistema solo-planta-microrganismos, pois podem, direta e indiretamente, influenciar outros microrganismos do solo e a ciclagem de nutrientes (Covacevich & Berbara, 2011). Constituem um grupo funcional chave da biota do solo que pode contribuir potencialmente com a produtividade agrícola e sustentabilidade dos agroecossistemas (Gianinazzi et al., 2010). São organismos sensíveis às alterações ambientais e podem ser utilizados como indicadores biológicos de qualidade do solo, pois a mudança na comunidade de FMA pode refletir alterações ambientais. O impacto desses fungos no funcionamento dos ecossistemas é bastante significativo já que os FMA têm potencial para influenciar tanto no ciclo do carbono como no do fósforo (Sanders et al., 1996). E cumprem um papel fundamental no armazenamento C e na agregação do solo (Wright & Upadhyaya, 1999). Fatores como o ambiente e o hospedeiro simbiote são capazes de influenciar a ecologia micorrízica (Brundrett, 1991).

Diferentes metodologias indicam a presença e atividade dos FMA no solo. Entre elas esta a quantificação de glomerosporos, a colonização micorrízica das raízes, o número mais provável de propágulos infectivos, o potencial de inoculo e a quantificação dos teores de glomalina, além da identificação de espécies de FMA. Estas avaliações oferecem informações sobre a diversidade, estruturação e funcionamento desses organismos (Schloter et al., 2003). A ecologia dos FMA é um campo com limitada amplitude de mensuração da abundância e atividade. Isso é feito através da identificação dos esporos de campo, da quantificação dos esporos, do micélio externo, da colonização radicular e do potencial de inoculo. Todas essas variáveis tem limitações técnicas.

Para melhor avaliação da dinâmica da comunidade dos FMAs nos diferentes ecossistemas, diversos trabalhos têm-se utilizado os índices de diversidade de espécies. Tais índices podem ser usados para adicionar conhecimentos sobre a variabilidade das comunidades microbianas do solo. A diversidade é função de dois componentes: a riqueza e a uniformidade das espécies (Caproni, 2003). A riqueza de espécies, também chamada de densidade ou abundância de espécies, é baseada no número total de espécies presentes. A uniformidade, também denominada equitabilidade, é baseada na abundância relativa de espécies e no grau de dominância de uma em relação às outras (Odum, 1988; Kennedy & Smith, 1995).

O índice de riqueza de espécies tem sido bastante utilizado, e constitui-se num indicador da abundância relativa de espécies numa comunidade sendo representada pelo número total de espécies de determinada área (Mergulhão, 2006). A rotação de culturas favorece a diversidade na composição da comunidade de FMAs e restabelece o equilíbrio entre as espécies desses fungos presentes no solo (Miranda et al., 2005), entretanto, mais estudos são necessários para avaliar diferentes sistemas de rotação e cultivo sobre a comunidade de FMAs no solo (Vilela, 2012). A inclusão da Glomalina dentre as variáveis de

ecologia dos FMA é interessante, pois a quantificação da proteína é rápida, objetiva, barata e relativamente fácil de ser conduzida (Purin & Rillig, 2007).

A glomalina é uma proteína hidrofóbica, termoestável e recalcitrante (Wright et al., 1996) produzida, em especial, nas hifas dos fungos micorrízicos (Driver et al., 2005). É bastante utilizada como indicador da atividade desses fungos em campo e apresenta uma quantificação rápida, barata, objetiva e relativamente fácil (Purin & Rillig, 2007). Sua concentração no solo tem sido frequentemente correlacionada com a população de FMA do solo (Vilela, 2012) e pela promoção de maior estabilidade ao solo (Wright & Upadhyaya, 1999).

De acordo com as diferentes formas de quantificação, Rillig et al. (2004) introduziram nova nomenclatura para identificar a glomalina do solo, substituindo a então proposta por Wright & Upadhyaya (1999). Se ela for quantificada via método de ELISA é chamada de GRSP (glomalin related soil-protein - proteína do solo relacionada com a glomalina). Caso ela seja quantificada pelo método de Bradford, a concentração de glomalina é denominada BRSP (Bradford related soil protein - proteína do solo relacionada com Bradford) e diferenciadas em duas frações, a Glomalina Facilmente Extraível (GFE) e Glomalina Total (GT).

Os teores de glomalina presentes nos solos apresentam ampla variação, sendo influenciados, principalmente pelo ambiente (entre 2-15 mg.cm<sup>-3</sup> de BRPS em ambientes temperados e superiores a 60 mg.cm<sup>-3</sup> em ambientes tropicais) (Wright et al., 1996; Wright & Upadhyaya, 1998; Rillig et al., 2001). Wright & Upadhyaya (1996) sugerem que grande quantidade da glomalina do solo esteja associada com as substâncias húmicas e frações minerais do solo. Além disso, estima-se que a glomalina contribui com 3,2% de C e 5% de N nos solos tropicais, representando 3% e 5% da reserva desses elementos nos solos (Lovelock et al., 2004), contribuindo para o estoque de carbono nos solos, sendo importante inclusive para o sequestro de carbono (Driver et al., 2005).

A GFE representa depósitos recentes protegidos da degradação, enquanto a GT pode representar a menor porção da matéria orgânica extremamente persistente no solo. Essa relação indica que a GFE pode ser usada como uma medida simples para avaliar relações entre a estabilidade de agregados e práticas agronômicas (Wright & Upadhyaya, 1998; Rillig et al., 2001). A principal função atribuída à glomalina é a de agregação do solo e, sendo sensível às alterações no uso do solo, pode ser utilizada como bom indicador de qualidade. Sabe-se que os atributos do solo, condições climáticas, sistemas de uso do solo, práticas de manejo agrícola, presença e tipo de vegetação, dentre outros fatores, influenciam na quantidade de glomalina produzida pelos FMA (Souza, 2012).

### **2.3. Variabilidade espacial e temporal**

A avaliação da QS tem dimensão espacial e temporal. Para que o um indicador avalie mudanças no intervalo entre medições, há necessidade de tempo suficiente para que dado manejo do solo produza alterações quantificáveis, quanto a sua frequência no espaço deve considerar as variações espaciais provocadas pelo manejo ou relevo (Reichert et al., 2003).

O solo apresenta heterogeneidade e sua variabilidade espacial é dependente dos fatores de formação, topografia, características do solo, água, microclima e práticas de manejo (Jenny, 1941; Souza et al., 2001). A heterogeneidade é uma característica intrínseca dos solos, e a ação antrópica resulta em maior variabilidade dos seus atributos (Souza, 1992; Santos et al., 2006). Para diminuir o impacto das práticas agrícolas sobre o sistema é necessário o conhecimento da variabilidade espacial e temporal dos atributos do solo no espaço e no tempo. Sendo isso considerado o princípio básico para o manejo localizado das áreas agrícolas, qualquer que seja sua escala (Grego & Vieira, 2005).



O estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos dos solos é particularmente importante em áreas onde o solo está submetido a diferentes tipos de manejo (Carvalho et al., 1998; Carvalho et al., 2002). Uma maneira de solucionar problemas relacionados à avaliação da variabilidade espacial do solo seria a adoção de métodos geoestatísticos (Deutsch & Journel, 1998), indicando alternativas de manejo para reduzir os efeitos da variabilidade na produção das culturas (Trangmar et al., 1985; Bhatti et al., 1991), e para aumentar a possibilidade de estimativa de respostas de atributos químicos do solo em função de determinadas práticas de manejo (Ovalles & Rey, 1994; Silveira et al., 2000).

### 2.3.1. Geostatística

A geoestatística representa uma ferramenta importante para o mapeamento da variabilidade espacial e temporal dos solos (Valeriano & Prado, 2001), integrando múltiplos indicadores e assim avaliando a paisagem e o sistema como um todo (Smith, 1993). Ela gera mapas que possibilitam o planejamento e avaliação de alterações temporais na QS (Vezzani et al., 2002).

A estatística clássica assume que a variabilidade de uma propriedade do solo ou planta em torno dos valores médios é aleatória e independente da posição espacial (Trangmar et al., 1985; Guedes Filho, 2009; e Fietz et al., 1999). Seguindo por outro pensamento, Vieira et al. (1981) demonstraram que a variabilidade das propriedades do solo é dependente de sua distância, ou seja, as diferenças entre os valores de uma propriedade do solo pode ser expressa em função da distância de separação entre elas. Com o emprego da geoestatística pode-se analisar adequadamente dados de experimentos com a possibilidade de obter informações não reveladas pela estatística clássica (Salviano et al., 1998).

A geoestatística é fundamentada na teoria de que os valores medidos em um determinado local estão em concordância com sua distribuição espacial, assim observações tomadas a curtas distâncias devem ser mais semelhantes do que aquelas tomadas a distâncias maiores (Vieira et al., 2002). Tendo sua base teórica em funções de variáveis aleatórias, o método de interpolação utilizado é chamado de krigagem e usa a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima.

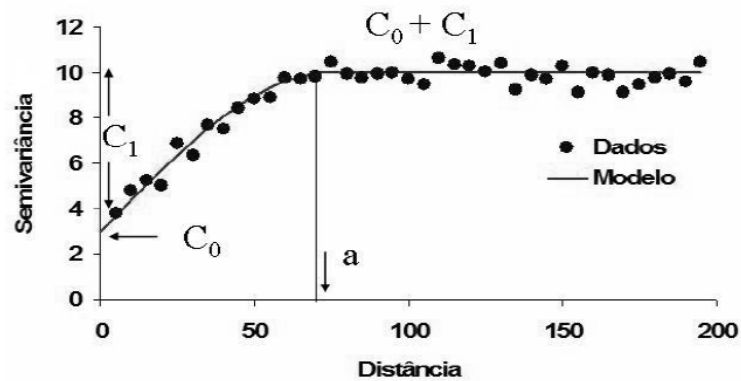
Os procedimentos geoestatísticos envolvem a análise exploratória, geração e modelagem de semivariogramas, validação do modelo e interpolação de krigagem (Vieira, 2000). O semivariograma é uma das ferramentas básicas para a krigagem, sendo considerado um avaliador da dependência espacial entre as amostras (Vieira et al., 1983). Pode ser calculado pela seguinte equação:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2 N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (\text{eq. 1})$$

onde:

$N(h)$  é o número de pares de valores medidos  $Z(x_i)$ ,  $Z(x_i+h)$ , separados por um vetor  $h$ .

O gráfico de  $\gamma^*(h)$  versus os valores correspondentes de  $h$  é chamado semivariograma, sendo uma função do vetor  $h$ . A Figura 1 mostra um semivariograma típico com seus parâmetros.



**Figura 1.** Semivariograma experimental (Guedes Filho, 2009).

Os parâmetros representados são:

- Alcance ( $a$ ), representa a distância onde há correlação espacial entre as amostras;
- Patamar ( $C_0 + C_1$ ), onde o valor do semivariograma corresponde ao seu alcance e a partir deste ponto a variância entre amostras se torna constante.
- Efeito pepita ( $C_0$ ), revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre os pontos de coleta das amostras. Parte dessa descontinuidade pode também ser devida a erros de medição (Delhomme, 1976).

Se o semivariograma, ao invés de ser crescente e dependente de  $h$  como o mostrado na Figura 1, for constante e igual ao patamar para qualquer valor de  $h$ , se tem o que é conhecido como efeito pepita puro, ou seja, a ausência total de dependência espacial. Assim, o alcance para os dados em questão é menor do que o menor espaçamento entre amostras, caracterizando uma distribuição espacial completamente aleatória (Silva et al., 1989).

Medições localizadas em distâncias maiores que a estabelecida pelo alcance, tem distribuição espacial aleatória e por isso podem ser consideradas independentes entre si. Neste caso, a Estatística Clássica pode ser aplicada sem restrições. Por outro lado, amostras separadas por distâncias menores que o alcance são correlacionadas umas às outras, o que permite que se façam interpolações para espaçamentos menores do que os amostrados.

Depois de calculada a semivariância, faz-se o ajuste de um modelo matemático. Os principais modelos matemáticos para os estudos de variáveis de interesse agrônomo, tais como solo e planta, são os esférico, exponencial e gaussiano (Vieira et al., 1981), geralmente feito pelo método de tentativa e erro aliado ao exame dos resultados do "jack knifing". A técnica "jack knifing" permite avaliar a qualidade do método de estimativa de dados e, também, definir o melhor número de vizinhos mais próximos a um determinado ponto para a estimativa do valor nesse ponto. A técnica é também utilizada para avaliar se o modelo matemático do semivariograma experimental usado no processo de estimativa de dados é o que melhor se ajusta (Souza, 1992). Utilizando estes parâmetros a krigagem é feita, resultando em mapas de distribuição para cada atributo analisado.

Na literatura são encontrados estudos relacionando a variabilidade espaço-temporal com atributos biológicos, entre eles, Smith (1993) desenvolveu trabalho pioneiro relacionando indicadores biológicos (biomassa e respiração microbiana) com a comunidade de plantas; Ettema & Wardle (2002) apresentaram uma revisão sobre a influência da comunidade de plantas sobre a distribuição de organismos, Schreiner (2005) relacionou espacialmente FMA com raízes de uvas viníferas; Pickles (2009) relacionou a distribuição espacial de ectomicorrizas com a presença de raízes de Pinus; e Hargraves et al. (2003), El Sebai et al. (2007) e Loreiro et al. (2010) obtiveram correlação entre manejos do solo com biomassa

microbiana. Em contrapartida, Smith (2011) não obteve boa correlação entre parâmetros biológicos do solo e os atributos do solo avaliados.

Apesar deste número de trabalhos nenhum relaciona espacialmente e temporalmente o comportamento dos FMAs. Mais raros ainda são os trabalhos em sistemas complexos de produção e que relacionem diferentes manejos e rotações com os impactos de cada cultura sobre a biologia do solo. Em geral os trabalhos comparam áreas nativas com áreas que sofreram processos antrópicos, o que facilita a obtenção de correlações entre as variáveis.

O presente trabalho espera preencher alguns gargalos existentes quando se relaciona sistemas complexos de produção, indicadores de qualidade do solo e o impacto do manejo sobre a comunidade de fungos micorrízicos arbusculares.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 2.1. Caracterização da Área

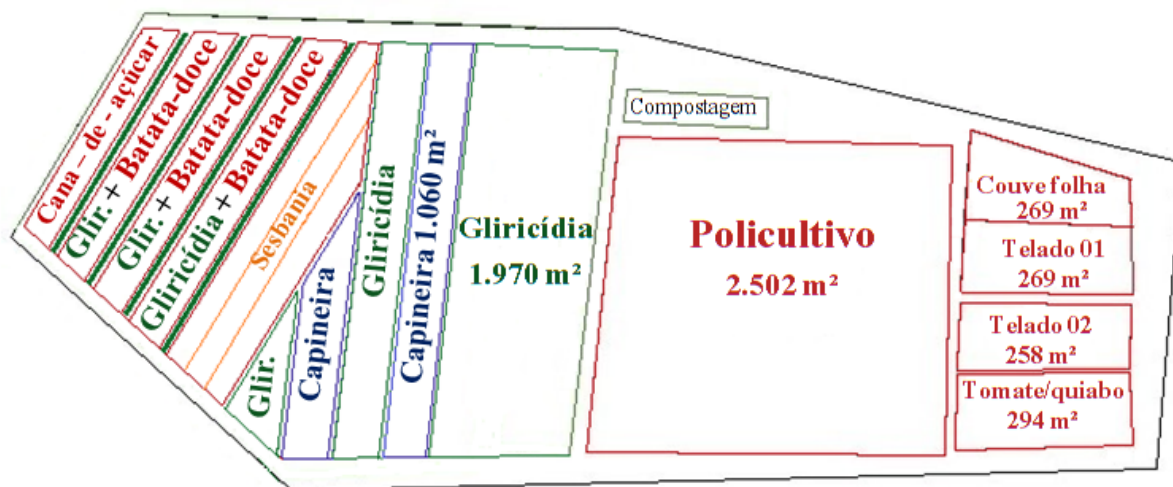
O Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA), mais conhecido como a “Fazendinha Agroecológica Km 47”, foi criado em 1992, em uma aliança entre o Centro Nacional de Pesquisa em Agrobiologia (Embrapa Agrobiologia), a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio de Janeiro (Pesagro-Rio). Foi criada para ser um espaço adequado ao exercício da agroecologia e do manejo orgânico em bases científicas e estruturadas para a exploração racional das potencialidades locais, dentro de uma estratégia que contribui para a sustentabilidade e a estabilização da atividade produtiva no meio rural (Almeida et al., 1999). O SIPA encontra-se localizado em Seropédica-RJ (latitude 22° 45' S, longitude 43° 41' N e elevação que varia entre 30 e 70 m), região da Baixada Fluminense. Apresenta relevo levemente ondulado e solos classificados como Argissolos Vermelho-Amarelos e Planossolos, com baixa fertilidade natural, textura arenosa e muito arenosa. Os Argissolos situam-se nas áreas de cota mais elevada, apresentam-se com boa drenagem natural, já os Planossolos dominam as baixadas e têm problemas de drenagem.

O clima da região é quente e úmido, com inverno pouco pronunciado. A temperatura média do mês mais frio é superior a 20°C e a temperatura máxima no verão pode ultrapassar 40°C. O regime pluvial é caracterizado pela existência de um período de chuvas no verão e estiagem no inverno. A precipitação anual é da ordem de 1.300 mm. Apesar das chuvas se concentrarem na primavera e no verão, é comum ocorrer veranicos (estiagens prolongadas) em janeiro e fevereiro. Por sua vez, no inverno, podem ocorrer precipitações elevadas, acima das médias registradas. Sendo incluído na classificação de Köppen como do tipo Aw.

Diversos experimentos são instalados no SIPA, dentre estes o “Módulo de Cultivo Intensivo de Hortaliças Orgânicas”. Este se propõe a replicar uma propriedade agrícola de pequena escala, que não apresente produção animal vinculada à produção vegetal. Desta forma não há entrada de qualquer material proveniente da produção animal, como esterco, compostos mistos, adubos orgânicos, entre outros produtos utilizados pela agricultura orgânica e que apresentam vínculo com a produção animal. O objetivo do módulo é apresentar um modelo de produção que apresente o máximo de independência de insumos externos, gerando trabalho e renda para uma família de quatro pessoas.

Esta área foi planejada e implantada no ano de 2011 para a dissertação de Mata (2012). Desde então aspectos químicos (pH, Al, P, K, Ca, Mg e C-orgânico) e físicos (textura) do solo são levantados anualmente. Assim como o balanço econômico, contabilizando todas as entradas e saídas, simulando a venda para mercados em Seropédica e para feiras orgânicas do Rio de Janeiro, com o objetivo de apresentar aos produtores rurais o resultado que uma pequena propriedade com um sistema intensivo de cultivo pode gerar.

A área total é de 1,0 hectare, divididos em seis subsistemas principais, como representado na Figura 2. Os subsistemas Policultivo, Couve, Telado 1 e 2 e Tomate/quiabo são destinadas à produção intensiva de hortaliças, representando 35% da área total. Enquanto que os subsistemas Gliricídia, Capineira, Sesbania, Gliricídia+Batata-doce e cana-de-açúcar são destinados à produção de biomassa e de espécies arbóreas, gramíneas e culturas de ciclo longo, representando 47% da área. As demais áreas destinam-se aos plantios limítrofes (Tefrosia, Palmito pupunha e laranja) e ruas para circulação de pessoas e máquinas, representam aproximadamente 18%.



**Figura 2.** Croqui do Módulo de Cultivo Intensivo de Hortaliças Orgânicas, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense.

## 2.2. Manejo do Módulo de Cultivo Intensivo de Hortaliças Orgânicas

No manejo do Módulo de cultivo são colocadas em prática tecnológicas desenvolvidas na própria “Fazendinha Agroecológica Km 47” durante seus 22 anos consecutivos de pesquisa com hortaliças. Toda a área apresenta uma rotação de cultivos, seguindo modelo adaptado de Mata (2012). Nos subsistemas Policultivo, Couve e Telados a produção intensiva de 18 espécies de hortaliças é conduzida do mês de abril a outubro.

Devido a limitações de temperatura e pluviosidade, a partir de outubro são cultivados milho e quiabo nos canteiros em consórcio com espécies de adubos verdes leguminosas (*mucuna*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis*, feijão de porco). As leguminosas permanecem na área até abril, quando são substituídas pelas hortaliças, iniciando um novo ciclo. O objetivo das espécies leguminosas é fertilizar o sistema, incorporar matéria orgânica e restabelecer o equilíbrio do solo. A Tabela 1 apresenta as espécies cultivadas.

**Tabela 1.** Espécies cultivadas no Módulo de cultivo intensivo de hortaliças orgânicas, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense.

Culturas	Nome científico
Alface-crespa	<i>Lactuca sativa</i> , cv. Isabela
Alface-crespa vermelha	<i>Lactuca sativa</i> , cv. Red fire
Alface-americana	<i>Lactuca sativa</i> , cv. Angelina
Alface-lisa	<i>Lactuca sativa</i> , cv. Regiane
Alface-roxa	<i>Lactuca sativa</i> , cv. Rubi
Beterraba	<i>Beta vulgaris</i> , var. Early Wonder Tall Top
Bertalha	<i>Basella alba</i> , var. local
Cenoura	<i>Daucus carota</i> , var. Brasília
Couve	<i>Brassica oleracea</i> L., var. acephala DC.
Chicória	<i>Cichorium endivia</i> , var. Mariana Gigante
Espinafre	<i>Spinacia oleracea</i> , var. Nova Zelândia
Pepino	<i>Cucumis sativus</i> , var. Jóia
Rabanete	<i>Raphanus sativus</i> , Sakata n° 19
Rúcula	<i>Eruca sativa</i> , var. Astro
Tomate	<i>Solanum lycopersicum</i> , var. Perinha
Feijão-vagem	<i>Phaseolus vulgaris</i> , var. Alessa e var. Novirex
Cebolinha	<i>Allium fistulosum</i> , var. local
Salsa	<i>Petroselinum sativum</i> , var. Lisa Preferida
Coentro	<i>Coriandrum sativum</i>
Mandioca	<i>Colocasia esculenta</i>
Milho	<i>Zea Mays</i> , cv. Eldorado
Laranja	<i>Citrus sinensis</i> L. Osbeck
Capim-elefante	<i>Pennisetum purpureum</i>
Cana de açúcar	<i>Saccharum officinarum</i> L.
Gliricídia	<i>Gliricidia sepium</i>
Crotalária juncea	<i>Crotalaria juncea</i>
Crotalária spectabilis	<i>Crotalaria spectabilis</i>
Feijão de porco	<i>Canavalia ensiformis</i>
Mucuna	<i>Mucuna pruriens</i>
Tefrósia	<i>Tefrosia cinapou</i>
Sesbania	<i>Sesbania virgata</i>
Feijão guandu	<i>Cajanus cajan</i>
Palmeira real	<i>Archontophoenix cunninghamii</i>
Açaí	<i>Euterpe oleracea</i>

O plantio da grande maioria das hortaliças utiliza mudas, com exceção do pepino, rabanete, cenoura, vagem e cebolinha. Estas mudas e o substrato utilizado são produzidos na própria Fazendinha, seguindo metodologia desenvolvida por Oliveira (2011). O substrato e composto por húmus de minhoca, torta de mamona e fino de carvão vegetal. A maioria das sementes utilizadas são certificadas como orgânicas, para algumas hortaliças se utilizam sementes convencionais, pela pequena disponibilidade de sementes orgânicas no mercado. A Tabela 2 as culturas utilizadas nestes subsistemas e a época em que cada espécie é produzida.

**Tabela 2.** Rotação de cultivos nos anos de 2013 e 2014, no Módulo de cultivo intensivo de hortaliças orgânicas, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense.

CULTURA	2013												2014											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Alface Americana																								
Alface Crespa																								
Alface Vermelha																								
Alface Lisa																								
Alface Roxa																								
Chicória																								
Rabanete																								
Rúcula																								
Espinafre																								
Salsa																								
Cenoura																								
Pepino																								
Vagem Alessa																								
Bertalha																								
Centro																								
Cebolinha																								
Beterraba																								
Milho																								
Quiabo																								
Mucuna																								
Crotalária																								
Feijão de porco																								

A adubação do Módulo de cultivo se baseia no uso de composto fermentado anaeróbico, o chamado Bokashi. Este é obtido pela fermentação anaeróbica de torta de mamona, farelo de trigo, após inoculação com microrganismos eficientes (EM - produto comercial Embiotic Line). O Bokashi apresenta em média 3,32 g.kg<sup>-1</sup> de cálcio, 3,48 g.kg<sup>-1</sup> de magnésio, 3,94 g.kg<sup>-1</sup> de fósforo, 11,50 g.kg<sup>-1</sup> de potássio e 4,08 g.kg<sup>-1</sup> de nitrogênio.

Além disso, adubações de cobertura são feitas com torta de mamona, que apresenta concentração média de 4,46 g.kg<sup>-1</sup> de fósforo, 10,38 g.kg<sup>-1</sup> de potássio e 5,23 g.kg<sup>-1</sup> de nitrogênio. Uma cobertura morta com 50% de palhada de gliricídia e 50% de capim-elefante é adicionada aos canteiros. O composto vegetal (capim-elefante + torta de mamona) é utilizado no preparo das covas de pepino, couve, tomate e quiabo.

O subsistema Capineira e as áreas de entorno são adubados uma vez ao ano com torta de mamona para reposição nutricional. O subsistema Gliricídia recebe adubação nas culturas cultivadas nas entrelinhas.



**Figura 3.** Composto fermentado do tipo “Bokashi” (a)(b) e cobertura vegetal sobre canteiros de hortaliças (c)(d) em 23/07/2014, no Módulo de cultivo intensivo de hortaliças orgânicas, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense.

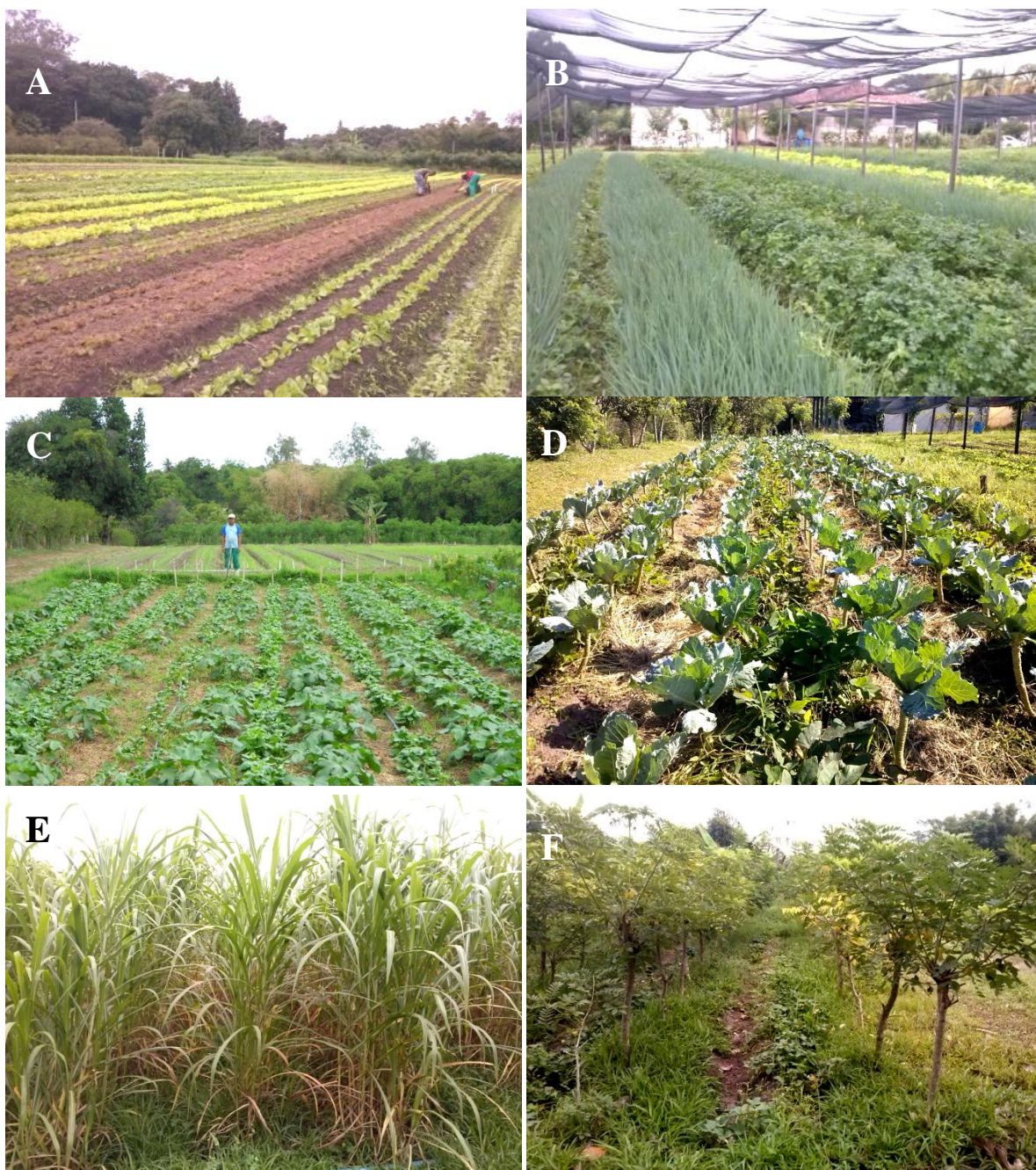
Os subsistemas Gliricídia e Capineira são destinados para produção de biomassa apresentam associação de espécies arbóreas (*Gliricidia sepium*, *Sesbania virgata* e açai), de ciclo longo (capim-elefante e cana-de-açúcar) e de ciclo anual (mandioca, batata-doce, inhame e feijão-guandu) em faixas. A produção de biomassa é destinada a produção de compostagem, para a cobertura dos canteiros das hortaliças, consequentemente para incorporação de matéria orgânica no sistema. O consórcio das arbóreas com espécies de ciclo longo objetiva o máximo aproveitamento da área e venda dos tubérculos e frutos produzidos.

Dentro deste sistema complexo foram selecionados 6 subsistemas:

- a. Subsistema 1: Chamado de Tomate/quiabo. Consiste no cultivo de tomate de março a outubro e quiabo de novembro a março. Plantio feito sem preparo de canteiros usando revolvimento mínimo do solo e cultivo a pleno sol.
- b. Subsistema 2: Chamado de Telado. Consiste no cultivo de hortaliças folhosas de março a dezembro e cultivo de adubos verdes de dezembro a março. Preparo manual de canteiros após cada ciclo de hortaliça. Apresenta 70% de incidência solar.
- c. Subsistema 3: Chamado de Couve. Consiste no cultivo de hortaliças da família brassicaceae (couve folha) de março a dezembro e cultivo de adubos verdes de dezembro a março. Com preparo manual de canteiros em março e cultivo a pleno sol.
- d. Subsistema 4: Chamado de Policultivo hortaliças. Consiste no cultivo de hortaliças folhosas, tubérculos, cucurbitáceas e feijões de março a outubro e cultivo de milho em



- consórcio com adubos verdes de outubro a março. Com preparo mecanizado do solo (arado, grade niveladora e encanteirador) duas vezes ao ano (março e outubro) e manutenção manual dos canteiros após cada colheita de hortaliça. Cultivo a pleno sol.
- e. Subsistema 5: Chamado de Gliricídia. Consiste no cultivo de batata-doce em aleias de Gliricídia, revolvimento manual do solo entre as linhas de gliricídia que recebe 3 podas por ano.
  - f. Subsistema 6: Chamado de Capineira. Consiste no cultivo de capim-elefante implantado a 5 anos, recebe 3 podas por ano.

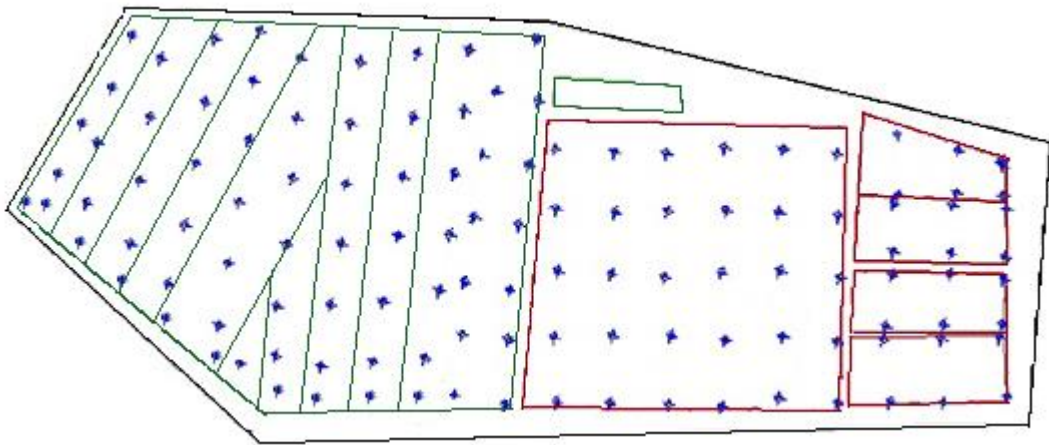


**Figura 4.** Visual dos subsistemas Policultivo (A), Telado (B), Tomate/quiabo (C), Couve (D) Capineira (E) e Gliricídia (F) em 14/07/2014, no Módulo de cultivo intensivo de hortaliças orgânicas, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense.

### 2.3. Georreferenciamento

A área do Módulo de cultivo foi georreferenciada com uso do GPS, modelo TRIMBLE PRO XT. A marcação de pontos foi feita em um grid quadrado de 10x10 metros. A Figura 5 apresenta a distribuição dos pontos georreferenciados na área. São 125 pontos no total distribuídos nos subsistemas e que abrangem todas as faixas e separações existentes. Este grid permitirá a avaliação da variabilidade espacial existente no módulo e a criação de mapas temáticos para inferências quanto a qualidade dos solos.

Para o fracionamento físico e químico da matéria orgânica, densidade e diversidade de esporos o grid foi de 25x25 metros, devido aos maiores custos e tempo utilizado nestas análises.



**Figura 5.** Módulo de Cultivo Intensivo de Hortaliças Orgânicas com destaque para os pontos de coleta georreferenciados num grid quadrado.

### 2.4. Coletas

As coletas foram feitas nos pontos georreferenciados, sendo 3 coletas em 1 ano de produção. As coletas seguiram a rotação de cultivos existente em cada subsistema. Sendo a 1ª coleta em abril de 2013, a 2ª em dezembro de 2013 e a 3ª em abril de 2014. Nas áreas de Capineira e Gliricídia as coletas foram feitas em abril de 2013 e 2014, uma vez que a rotação de cultivos não ocorreu na 2ª coleta.

Nos subsistemas destinados ao cultivo intensivo de hortaliças a 1ª coleta foi feita no momento do preparo do solo para o início do ciclo de hortaliças. Antes do preparo a área estava sendo cultivada com diversas espécies de adubos-verdes, como a mucuna-preta (*Mucuna puriens*), milheto (*Pennisetum glaucum*), *Crotalaria juncea* e feijão de porco (*Canavalia ensiformis*). O preparo do solo consiste na roçada dos adubos verdes, seguido por diferentes manejos para cada subsistema.

A 2ª coleta foi feita após 6 meses de cultivo intensivo de hortaliças, no momento do plantio do milho em consórcio com mucuna-cinza e dos adubos-verdes (*Crotalaria juncea* e feijão de porco). A área destinada ao cultivo de biomassa não foi coletada.

A 3ª coleta foi novamente feita no momento do preparo do solo para o início do ciclo de hortaliças, onde os adubos verdes são roçados.

O solo foi coletado a uma profundidade de 0-10 cm. Após as coletas, as amostras foram processadas como “Terra Fina Seca ao Ar” (TFSA) e destinadas aos locais de análises.

## 2.5. Análises Químicas e Físicas

As análises físicas de textura, referentes a 1ª coleta, foram feitas no Laboratório de Física do Departamento de Solo da UFRRJ. O método da pipeta (Embrapa, 1997) será utilizado para definir a granulometria do solo (argila total, areia fina, areia grossa e silte).

As análises de fertilidade dos solos foram feitas pelo Laboratório de Química Agrícola (LQA) na Embrapa Agrobiologia, com a determinação dos teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e pH. Segundo metodologia descrita em Embrapa (1997).

## 2.6. Matéria orgânica do solo

Os teores de carbono orgânico total (COT) foram determinados segundo Yeomans & Bremner (1988), no Laboratório de Pedologia do Departamento de Solo da UFRRJ.

O fracionamento e quantificação das frações das substâncias húmicas seguiu metodologia de solubilidade diferencial (Swift, 1996), com adaptação de Benites et al. (2003).

Pesou-se uma massa de solo igual a 1,0 g, submetendo-se ao contato com 20 ml de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> por 24 horas. A separação entre o extrato alcalino (EA = FAF + FAH) e o resíduo foi feita por centrifugação a 5000 rpm por 30 minutos. Seguiu-se mais uma lavagem com a mesma solução anterior, juntando-se o extrato com o anteriormente obtido, resultando em volume final de aproximadamente 40 ml. O resíduo foi retirado dos tubos da centrífuga, acondicionados em placa de Petri e secado a 65 °C (secagem completa). O pH do extrato alcalino (EA) foi ajustado a 1,0 (±0,1) com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20%, seguido de decantação por 18 horas em geladeira. O precipitado (FAH) foi separado da fração solúvel (FAF) por filtragem e ambos os volumes aferidos a 50 ml, com água destilada.

Para quantificação do carbono orgânico da Fração Ácido Fúlvico (FAF) e da Fração Ácido Húmico (FAH) usou-se alíquotas de 5,0 ml de extrato, 1,0 ml de dicromato de potássio (0,042 mol.L<sup>-1</sup>) e 5,0 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, em bloco digestor a 150 °C (30 min) e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 mol L<sup>-1</sup>. No resíduo seco em estufa, foi determinado o carbono orgânico na humina (HUM) adicionando 5,0 ml de dicromato de potássio (0,1667 mol.L<sup>-1</sup>) e 10,0 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, em bloco digestor a 150 °C (30 min) e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol L<sup>-1</sup> e indicador ferroin (Yeomans & Bremner, 1988).

O fracionamento físico densimétrico seguiu metodologia de Conceição et. al. (2008), onde 10 g de solo moído a 2 mm foram dispostos em tubo de centrífuga de 100 mL, contendo 80 mL de solução densa. Utilizou-se solução de NaI 1,8 Mg m<sup>-3</sup> para que a suspensão fosse sonicada com energia de 250 JmL<sup>-1</sup>. A suspensão foi centrifugada a 2000 rpm por 90 minutos e o sobrenadante contendo a Fração Leve (FL) filtrado, sob vácuo, em filtro Whatman n°1. Para retirar o excesso de sal (NaI), o filtro + FL foi lavado com água destilada, sendo seco a 60°C por 24 horas, macerado e quantificado o carbono da fração.

## 2.7. Determinação das variáveis micorrízicas

A simbiose micorrízica foi caracterizada pela contagem de glomerosporos, diversidade de glomerosporos e pela Proteína do Solo Relacionada ao Bradford (BRSP), chamada de Glomalina. As análises foram feitas no laboratório de Biologia dos Solos do Departamento de Solos da UFRRJ. Para extração dos esporos 50 g de solo foi pesado e seguiu-se a metodologia de peneiramento úmido (Gedermann & Nicolson, 1963) e centrifugação com água e sacarose (Daniels & Skipper, 1982). Os glomerosporos foram contados e separados por cor e tamanho.

As lâminas foram montadas com resina PVLG e PVLG + Melzer para sua identificação morfológica. A riqueza de espécies foi estimada pelo número total de indivíduos de uma espécie em cada área.

A extração de proteína do solo relacionada com Bradford, neste trabalho chamada de glomalina, foi determinada de acordo com metodologia de Wright & Updahyaya (1998). Foram diferenciadas a fração facilmente extraível (GFE) e fração total (GT). Para cada fração pesou-se 1g de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) dos solos coletados em cada coleta.

A GFE foi obtida pela diluição da TFSA em 8 ml de citrato de sódio (20 $\mu$ M, pH 7,0) e em temperatura de 121°C por 30 minutos, com posterior centrifugação por 15 minutos a 5000 rpm e coleta do sobrenadante. Já na GT se utilizou citrato de sódio (50  $\mu$ M e pH 8,0) em temperatura de 121°C por 60 minutos para diluição, com posterior centrifugação por 10 minutos a 5000 rpm e coleta de sobrenadante. Para GT são repetidos ciclos para a extração completa da fração, até que as amostras apresentem coloração amarelo-clara.

Os sobrenadantes são quantificados pelo método de Bradford (1976), modificado por Wright et al.(1996), usando como padrão o soro albumina bovina. Considerando o volume total de sobrenadante e do peso da matéria seca das amostras de solo, corrigi-se para mg.g<sup>-1</sup> a concentração.

## **2.8. Estatística Descritiva**

Antes das análises estatísticas paramétricas, os dados obtidos pelas análises químicas, físicas e biológicas do solo foram avaliados quanto ao preenchimento das exigências de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade das variâncias (Levene), utilizando software estatístico SAEG 5.0 e Assistat. Atendendo às pressuposições de normalidade e homogeneidade, seguiu-se a análise de variância e o teste de Tukey ao nível de 5% de significância. A análise de variância (ANOVA) foi conduzida tendo o tipo de manejo de solo e a época de coleta como fatores. Foi feita a correlação de Pearson entre os atributos, diferenciados entre coletas.

## **2.9. Geoestatística**

Os dados físicos de granulometria e os atributos químicos e biológicos foram trabalhados pela análise geoestatística utilizando como base a metodologia proposta por Vieira et al. (2000) e software GEOESTAT (Vieira et al., 1987). Primeiro foram feitos gráficos, para cada uma das propriedades do solo levantadas e sua distribuição no campo, utilizando o programa SURFER 8.0 (Golden Software). Esse procedimento é importante para o conhecimento preliminar da distribuição dos dados na área, além de se verificar a possível existência de dados anômalos e também permite observar a existência de anisotropia (ocorrência de variabilidade espacial dos dados diferenciada de acordo com a direção). Em seguida, foi feita a análise estrutural dos dados (variografia) para a construção de modelo estatístico que descrevesse a variabilidade dos fenômenos estudados.

Para a elaboração dos mapas temáticos com a distribuição das propriedades levantadas, cada dado é convertido para uma extensão compatível e exportado para o programa Arc View Gis versão 9.3.a., com resolução espacial de 1 metro. O último passo corresponde a álgebras dos mapas, subtraindo os resultados de uma coleta em relação à outra. Com estes mapas a disposição observa-se a diferenciação das características durante o ano. E inferências quanto à época de coleta, relacionando as mudanças ocorridas como o tipo de manejo, preparo do solo e culturas.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Estatísticas Descritivas dos Atributos do Solo

A primeira etapa da análise geoestatística consiste na estatística descritiva dos atributos do solo (Tabela 3), como uma análise prévia dos 32 atributos avaliados.

**Tabela 3.** Estatística descritiva dos atributos do solo avaliados nas 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> (2013) e 3<sup>a</sup> (2014) coletas no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense.

Atributo	Unidade	Média	Variância	CV (%)	Mín.	Máx.	Assimetria	Curtose
Elevação	metros	27,62	2,90	6,16	25,00	29,00	-0,636	-1,330
Argila	g.kg <sup>-1</sup>	8,33	13,63	44,28	3,00	16,00	0,196	-0,862
GFE 1 <sup>a</sup> coleta	mg.g <sup>-1</sup>	9,08	0,18	4,79	8,10	10,28	0,109	-0,387
GFE 2 <sup>a</sup> coleta	mg.g <sup>-1</sup>	8,88	0,11	3,73	8,10	10,28	0,748	2,135
GFE 3 <sup>a</sup> coleta	mg.g <sup>-1</sup>	9,27	0,13	4,01	8,30	10,62	0,485	1,592
GT 1 <sup>a</sup> coleta	mg.g <sup>-1</sup>	26,41	21,96	17,74	23,40	55,46	5,07	26,67
GT 2 <sup>a</sup> coleta	mg.g <sup>-1</sup>	29,15	49,47	24,13	23,87	55,46	1,873	2,715
GT 3 <sup>a</sup> coleta	mg.g <sup>-1</sup>	24,49	46,70	27,90	14,77	56,1	1,229	3,515
Esp 1 <sup>a</sup> coleta	n°.50g*	6,09	13,72	60,78	1,41	18,44	1,360	2,117
Esp 2 <sup>a</sup> coleta	n°.50g	8,89	14,96	43,48	1,73	18,44	0,262	-0,288
Esp 3 <sup>a</sup> coleta	n°.50g	4,32	15,15	90,05	1,00	18,44	2,150	4,507
COT 1 <sup>a</sup> coleta	g.kg <sup>-1</sup>	11,69	35,13	50,71	0,07	2,69	0,406	-0,399
COT 2 <sup>a</sup> coleta	g.kg <sup>-1</sup>	11,21	25,45	44,99	0,17	2,69	0,558	0,525
COT 3 <sup>a</sup> coleta	g.kg <sup>-1</sup>	7,23	10,06	43,83	0,19	1,56	0,478	-0,33
pH 1 <sup>a</sup> coleta	-	5,78	0,28	9,20	4,66	6,69	-0,313	-1,08
pH 2 <sup>a</sup> coleta	-	5,92	0,43	11,12	4,66	7,03	-0,228	-1,37
pH 3 <sup>a</sup> coleta	-	6,31	0,22	7,54	4,68	7,29	-0,673	0,477
K 1 <sup>a</sup> coleta	mg.dm <sup>-3</sup>	52,70	1689,0	77,98	4,00	248,0	2,187	6,562
K 2 <sup>a</sup> coleta	mg.dm <sup>-3</sup>	49,25	1778,0	85,61	4,00	248,0	2,509	7,218
K 3 <sup>a</sup> coleta	mg.dm <sup>-3</sup>	47,69	1516,0	81,66	7,00	200,0	1,747	3,336
P 1 <sup>a</sup> coleta	mg.dm <sup>-3</sup>	68,40	4105,0	93,67	2,48	261,4	2,509	0,484
P 2 <sup>a</sup> coleta	mg.dm <sup>-3</sup>	58,66	2521,0	85,60	2,48	185,4	1,055	-0,527
P 3 <sup>a</sup> coleta	mg.dm <sup>-3</sup>	59,84	2629,0	85,68	3,70	191,9	0,743	-0,492
Ca 1 <sup>a</sup> coleta	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	1,70	0,83	53,86	0,00	4,35	0,376	-0,125
Ca 2 <sup>a</sup> coleta	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	1,79	0,91	53,18	0,00	4,35	0,149	-0,653
Ca 3 <sup>a</sup> coleta	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	2,13	1,01	47,29	0,55	4,63	0,377	-0,780
Mg 1 <sup>a</sup> coleta	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	0,69	0,16	57,80	0,04	2,11	0,454	0,184
Mg 2 <sup>a</sup> coleta	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	0,78	0,26	65,29	0,04	2,42	0,876	0,982
Mg 3 <sup>a</sup> coleta	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	0,83	0,14	45,33	0,10	1,63	0,112	-0,868
N 1 <sup>a</sup> coleta	g.kg <sup>-1</sup>	1,51	0,62	52,23	0,20	6,50	2,555	12,48
N 2 <sup>a</sup> coleta	g.kg <sup>-1</sup>	0,11	0,04	76,8	0,63	0,81	-0,14	1,159
N 3 <sup>a</sup> coleta	g.kg <sup>-1</sup>	1,02	0,23	51,32	0,35	1,32	1,055	10,22

CV - Coeficiente de variação; Min - Valor mínimo; Max - Valor Máximo; GFE - Glomalina Facilmente Extraível; GT - Glomalina total; Esp - Densidade de esporos; COT - Carbono Orgânico Total; pH - Potencial Hidrogeniônico; K - Potássio; P - Fósforo; Ca - Cálcio; Mg - Magnésio; N - Nitrogênio. \*n°.50g = n° esporos em 50 g de solo

Dados que apresentam distribuição normal possuem valores similares de média, mediana, moda e assimetria, variando em torno de 0 a  $\pm 0,5$ . As variáveis GFE na 1<sup>a</sup> coleta,

COT na 1ª e 3ª coleta, pH na 3ª coleta, Fósforo na 1ª e 3ª coleta e densidade de esporos na 2ª coleta apresentaram distribuição normal e pequena variação. As demais variáveis não apresentaram distribuição normal de dados.

Ao final da análise geostatística tem-se mapas temáticos de distribuição dos atributos avaliados, estes mapas contribuem com análises descritivas dos resultados, distribuição dos atributos na área e observação de tendências. Porém apenas com análises quantitativas dos dados e uso da estatística clássica (teste de média) pode-se afirmar que existe diferença entre áreas e entre conjunto de dados. Assim, a fim de embasar a discussão dos resultados, a Tabela 4 apresenta os resultados do teste de Tukey, com 5 % de significância. São apresentados médias dos dobramentos das 3 épocas de coleta (Fator 1) nos diferentes subsistemas encontrados no Módulo de cultivo (Fator 2).

**Tabela 4.** Teores de Glomalina Facilmente Extraível (GFE), Glomalina Total (GT), Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio (N), pH, Potássio (K), Cálcio (Ca) em 6 subsistemas na 1ª, 2ª (2013) e 3ª (2014) coletas no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica.

Subsistema	Tomate/quiabo	Telado	Couve folha	Policultivo	Gliricídia	Capineira
Coleta	<b>Glomalina Facilmente Extraível (mg.g<sup>-1</sup>)</b>					
1ª	9,19 bB	8,73 bC	8,83 bC	9,49 aA	9,55 aA	9,30 aB
2ª	8,78 cC	8,92 bC	8,65 bC	8,93 bC	-	-
3ª	10,11 aA	9,14 aC	9,49 aB	9,20 bC	9,63 aB	8,76 bC
	<b>Glomalina Total (mg.g<sup>-1</sup>)</b>					
1ª	26,04 cA	25,21 bA	25,12 bA	25,21 bA	25,38 aA	25,84 aA
2ª	42,88 aA	37,58 aB	30,84 aC	31,48 aC	-	-
3ª	38,45 bA	29,77 bC	26,63 bC	30,40 aB	23,80 aD	20,64 bD
	<b>Densidade de glomerosporos (n°.50 g solo<sup>-1</sup>)</b>					
1ª	17,00 bB	5,00 aC	9,00 aB	33,99 bB	34,00 aB	141,30 aA
2ª	82,00 aA	16,50 aB	13,00 aB	110,00 aA	-	-
3ª	4,00 bC	5,60 aC	4,00 aC	7,49 bC	34,00 aB	141,30 aA
	<b>Carbono Orgânico Total (g.kg<sup>-1</sup>)</b>					
1ª	2,25 aA	1,52 bB	1,61 aB	1,48 aB	1,53 aB	0,42 aC
2ª	2,29 aA	1,96 aAB	1,62 aA	1,76 aB	-	-
3ª	1,42 bA	1,11 cAB	0,99 bB	0,83 bC	0,81 bC	0,38 aD
	<b>Nitrogênio (g.kg<sup>-1</sup>)</b>					
1ª	2,41 aA	1,74 aA	2,13 aA	1,36 bA	1,21 aA	1,04 aA
2ª	1,37 cA	1,55 aA	1,81 aA	1,70 aA	-	-
3ª	1,92 bA	1,64 bA	1,99 aA	1,68 aA	1,00 bA	0,89 bA
	<b>pH</b>					
1ª	6,22 bA	6,17 bA	6,21 bA	6,45 aA	6,23 aA	5,63 bB
2ª	6,56 aA	6,60 aA	6,47 aB	6,62 aA	-	-
3ª	6,61 aA	6,62 aA	6,50 aA	6,70 aA	6,23 aB	6,68 aA
	<b>Potássio (mg.dm<sup>-3</sup>)</b>					
1ª	94,00 bA	80,00 aA	61,50 bB	75,00 aA	44,00 aB	38,17 aB
2ª	145,33 aA	55,50 bB	50,33 bB	33,33 bB	-	-
3ª	130,33 aA	49,50 bC	107,67 aA	77,83 aB	25,33 aC	24,67 aC
	<b>Cálcio (cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>)</b>					
1ª	3,57 bA	2,70 bB	2,26 aC	2,15 bC	2,36 aC	0,86 bD
2ª	3,46 bA	2,98 aB	2,53 aC	2,19 bC	-	-
3ª	4,01 aA	3,48 aB	2,79 aC	2,92 aC	2,19 aD	1,41 aE

\*Letras maiúsculas comparam as colunas e minúsculas as linhas. Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para análise dos dados de granulometria foi utilizado o triângulo para classificação das classes texturais do solo, adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. A média de 8,33% de argila aponta um predomínio da classe textural areia nos solos do Módulo de cultivo.

Observando as médias dos atributos é possível verificar sua tendência de evolução nas 3 coletas. De forma geral o pH, Ca e Mg tiveram aumento, ao contrário do K e Carbono Orgânico que tiveram queda nos seus teores. Os teores de P e de Glomalina facilmente extraível se portaram de forma semelhante, tiveram queda da 1ª para a 2ª coleta e aumentaram para a 3ª coleta. Diferente dos demais, a Glomalina Total e a densidade de esporos foram mais elevados na 2ª coleta e diminuíram na 3ª coleta.

Dentre as variáveis os teores de Magnésio e de Fósforo não apresentaram diferenças significativas da interação entre os fatores, assim não foram apresentados na Tabela 4. Porém estes dois nutrientes apresentaram diferenças significativas dos fatores isolados. Além destes, os resultados do físico e químico da matéria orgânica e da diversidade de glomerosporos serão apresentados posteriormente.

A Tabela 4 servirá como base e critério de confiabilidade para as discussões posteriores, uma vez que apresenta diferenças significativas entre os subsistemas e assim justifica a separação e análise individualizada de cada subsistema. Caso não fosse constatada estas diferenças, a geostatística seria a única ferramenta para visualização dos resultados. Os resultados serão discutidos em conjunto com os mapas temáticos adiante.

A Tabela 5 apresenta coeficientes de correlação linear de Pearson ( $r$ ), entre os atributos físicos, químicos e biológicos avaliados, diferenciados em cada coleta. Através desta correlação pode-se estabelecer relação entre os atributos avaliados e até aperfeiçoar qualidade dos mapas pela interpolação de atributos pela cokrigagem.

Os atributos químicos fósforo, cálcio, magnésio e pH apresentaram correlações positivas e significativas entre si de modo geral. O nitrogênio apresentou correlação apenas com COT na 1ª e 3ª coleta.

Em todas as coletas a elevação teve correlação significativa entre o pH, teores de fósforo e a densidade de esporos. Os teores de fósforo se relacionaram com pH, cálcio e magnésio. A densidade de esporos se relacionou com o cálcio e magnésio em todas as coletas, com pH na 1ª coleta, com pH e fósforo na 2ª coleta e com pH, fósforo e cálcio na 3ª coleta. Assim há uma interrelação entre todas estas variáveis.

Os teores de argila se correlacionaram positivamente com o COT, demonstrando a grande influencia da textura do solo para a retenção de umidade e de matéria orgânica e consequente aumento de carbono. Porém não ocorreram outras correlações significativas entre argila e os demais atributos avaliados, provavelmente devido aos baixos conteúdos de argila presentes no sistema. Luca et al., 2008 e Pinheiro et al., 2010 também demonstraram a correlação direta existente entre C e teor de argila dos solos.

O nitrogênio apresentou correlação apenas com o COT. O teor de N nos solos está intimamente relacionado com o teor de C orgânico, sendo a mineralização de N correlacionada com o teor de C orgânico no solo (Botth et al. 2005). Esta alta relação entre Carbono Total e Nitrogênio Total dos solos foi observada em muitos trabalhos conforme Coutinho (2010) e Jantalia (2006). Foi observada alta correlação entre a relação C/N do solo com a relação C/N da microbiota do solo, inferindo sobre a relação entre fungos e bactérias da biomassa microbiana (Nannipierri et al., 2003).

A densidade de esporos apresentou correlação com GT apenas na 3ª coleta, não houve correlação com GFE e com GT nas demais coletas. Esta baixa correlação de entre as frações de glomalina e densidade de esporos também foram notadas por Daí (2015) e Vasconcelos (2013).

**Tabela 5.** Coeficientes de correlação linear de Pearson (r) entre os atributos na 1ª, 2ª (2013) e 3ª (2014) coletas no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense.

<b>1ª coleta</b>	Elevação	Argila	GFE	GT	COT	Esporo	pH	K	P	Ca	N
Elevação	1,000										
Argila	-0,165	1,000									
GFE	0,424	-0,213	1,000								
GT	-0,304	0,241	0,240	1,000							
COT	-0,073	<b>0,560</b>	0,197	0,420	1,000						
Esporo	<b>-0,652</b>	-0,256	-0,294	0,026	-0,346	1,000					
pH	<b>0,812</b>	-0,010	0,463	-0,270	0,099	<b>-0,648</b>	1,000				
K	0,017	0,434	0,166	0,352	0,488	-0,355	0,120	1,000			
P	<b>0,637</b>	0,379	0,260	-0,159	0,419	<b>-0,494</b>	<b>0,709</b>	0,302	1,000		
Ca	0,387	0,443	0,335	0,232	<b>0,646</b>	-0,482	<b>0,557</b>	0,478	<b>0,726</b>	1,000	
Mg	0,477	0,448	0,465	0,236	<b>0,613</b>	<b>-0,625</b>	<b>0,631</b>	0,482	<b>0,756</b>	<b>0,851</b>	0,345
N	0,085	0,331	0,226	0,330	<b>0,526</b>	0,401	0,143	0,266	0,316	0,487	1,000
<b>2ª coleta</b>	Elevação	Argila	GFE	GT	COT	Esporo	pH	K	P	Ca	N
Elevação	1,000										
Argila	-0,165	1,000									
GFE	0,136	-0,122	1,000								
GT	0,091	<b>0,556</b>	0,198	1,000							
COT	-0,173	<b>0,497</b>	0,300	<b>0,620</b>	1,000						
Esporo	<b>-0,652</b>	-0,256	-0,103	-0,253	-0,370	1,000					
pH	<b>0,832</b>	0,061	0,080	0,199	0,110	<b>-0,664</b>	1,000				
K	-0,038	0,417	0,213	<b>0,504</b>	0,412	-0,307	0,093	1,000			
P	<b>0,659</b>	0,339	0,046	0,452	0,301	<b>-0,504</b>	<b>0,800</b>	0,277	1,000		
Ca	0,450	0,465	0,191	<b>0,601</b>	<b>0,582</b>	<b>-0,554</b>	<b>0,660</b>	0,414	<b>0,763</b>	1,000	
Mg	0,427	0,175	0,420	0,433	0,480	<b>-0,510</b>	<b>0,573</b>	0,331	<b>0,603</b>	<b>0,745</b>	0,285
N	0,074	0,163	0,238	0,283	<b>0,527</b>	-0,455	0,193	0,102	0,199	0,314	1,000
<b>3ª coleta</b>	Elevação	Argila	GFE	GT	COT	Esporo	pH	K	P	Ca	N
Elevação	1,000										
Argila	-0,165	1,000									
GFE	0,162	0,255	1,000								
GT	0,246	0,473	<b>0,560</b>	1,000							
COT	0,246	<b>0,581</b>	<b>0,532</b>	<b>0,684</b>	1,000						
Esporo	<b>-0,769</b>	-0,316	-0,193	<b>-0,524</b>	-0,393	1,000					
pH	<b>0,671</b>	-0,084	0,045	0,274	0,155	<b>-0,703</b>	1,000				
K	0,358	0,352	0,469	<b>0,506</b>	<b>0,513</b>	-0,458	0,316	1,000			
P	<b>0,680</b>	0,278	0,419	0,490	<b>0,579</b>	<b>-0,647</b>	<b>0,496</b>	<b>0,526</b>	1,000		
Ca	<b>0,534</b>	0,469	<b>0,589</b>	<b>0,812</b>	<b>0,764</b>	<b>-0,693</b>	<b>0,510</b>	<b>0,625</b>	<b>0,776</b>	1,000	
Mg	<b>0,542</b>	0,386	<b>0,527</b>	<b>0,756</b>	<b>0,668</b>	<b>-0,732</b>	<b>0,580</b>	<b>0,615</b>	<b>0,721</b>	<b>0,933</b>	0,423
N	0,074	0,163	0,238	0,283	<b>0,627</b>	-0,455	0,193	0,102	0,199	0,314	1,000

\*GFE - Glomalina Facilmente Extraível; GT - Glomalina total; Esporo – Densidade de esporos; COT – Carbono Orgânico Total; pH – Potencial Hidrogenionico; K – Potássio; P – Fósforo; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio. Valores em negrito são significativos no nível de 5%.



As duas frações de glomalina se correlacionam com o COT e entre si na 3ª coleta. Já na 2ª coleta apenas GT apresentou correlação com COT, lembrando que esta coleta indica o efeito do cultivo de hortaliças e do manejo mais intensivo do solo. Fokon et al. (2012) demonstram que a proteína produzida pelos FMA contribui, de forma direta, com a reserva de carbono no solo. Corroborando com Köbel-knabner (2002), que demonstrou que fungos são formados por compostos com baixa proporção de nitrogênio, em contraste com bactérias.

#### 4.2. Análise Geoestatística

A Tabela 6 apresenta os coeficientes e os modelos ajustados dos atributos avaliados.

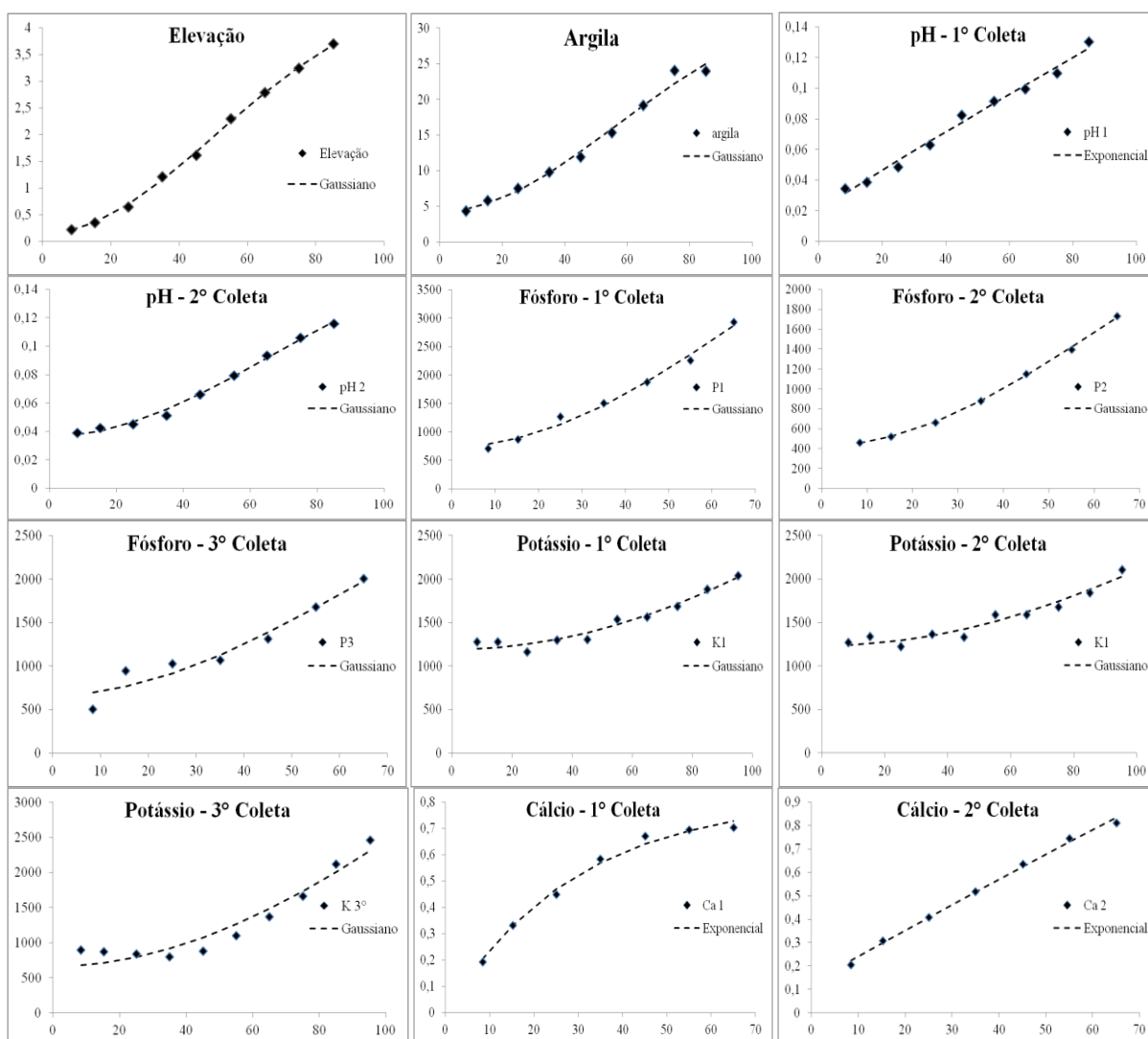
**Tabela 6.** Características dos semivariogramas dos atributos avaliados na 1ª, 2ª (2013) e 3ª (2014) coletas no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, baixada Fluminense.

Atributo	Modelo	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	a	r <sup>2</sup>	RA
Elevação	Gaussiano	0,148	4,643	122,947	0,99	3,097
Argila	Gaussiano	4,290	30,394	137,685	0,98	12,370
GFE 1ª coleta	Gaussiano	0,019	0,350	189,417	0,99	5,368
GFE 2ª coleta	Gaussiano	0,061	0,094	56,389	0,99	39,296
GFE 3ª coleta	Gaussiano	4,739	9,528	58,828	0,97	33,218
GT 1ª coleta	Exponencial	4,739	9,528	58,828	0,97	33,218
GT 2ª coleta	Gaussiano	21,084	16,133	60,585	0,96	56,651
GT 3ª coleta	Gaussiano	20,380	148,564	274,043	0,98	12,063
Esporos 1ª	Gaussiano	5,7271	742,412	997,448	0,94	0,7655
Esporos 2ª	Gaussiano	9,8808	458,293	812,235	0,84	2,1105
Esporos 3ª	Gaussiano	1,3163	556,872	702,054	0,99	0,2358
COT 1ª coleta	Exponencial	12,838	73,264	443,597	0,98	14,910
COT 2ª coleta	Exponencial	9,331	42,747	313,519	0,99	17,916
COT 3ª coleta	Gaussiano	4,289	58,886	356,003	0,99	6,790
pH 1ª coleta	Gaussiano	0,021	1,342	3129,22	0,98	1,536
pH 2ª coleta	Gaussiano	0,021	14,958	40638,5	0,99	0,139
pH 3ª coleta	Gaussiano	0,11036	0,19338	112,660	0,99	36,3341
K 1ª coleta	Gaussiano	1190,94	7163,13	470,831	0,95	14,2558
K 2ª coleta	Gaussiano	1234,31	7162,82	481,115	0,94	14,6992
K 3ª coleta	Gaussiano	669,048	7168,62	323,939	0,93	669,048
P 1ª coleta	Gaussiano	747,864	5726,54	165,590	0,98	11,5510
P 2ª coleta	Gaussiano	430,186	3054,58	152,121	0,99	12,3447
P 3ª coleta	Gaussiano	670,951	3058,47	151,196	0,93	17,9902
Ca 1ª coleta	Exponencial	0	0,81395	87,0978	0,99	0
Ca 2ª coleta	Exponencial	0,12635	7,29039	1911,55	0,99	1,7036
Ca 3ª coleta	Gaussiano	0,22135	224,379	2075,50	0,99	0,0985
Mg 1ª coleta	Gaussiano	0,04034	14,1419	1297,93	0,99	0,2844
Mg 2ª coleta	Exponencial	0,10294	1,12393	1055,11	0,95	8,3904
Mg 3ª coleta	Gaussiano	0,03975	12,1362	1292,58	0,99	0,3264
N 1ª coleta	Gaussiano	0,32675	0,85200	177,247	0,95	27,7190
N 2ª coleta	Gaussiano	0,39881	5,40854	486,985	0,87	6,86738
N 3ª coleta	Gaussiano	0,31832	29,3591	15903,2	0,90	1,07263

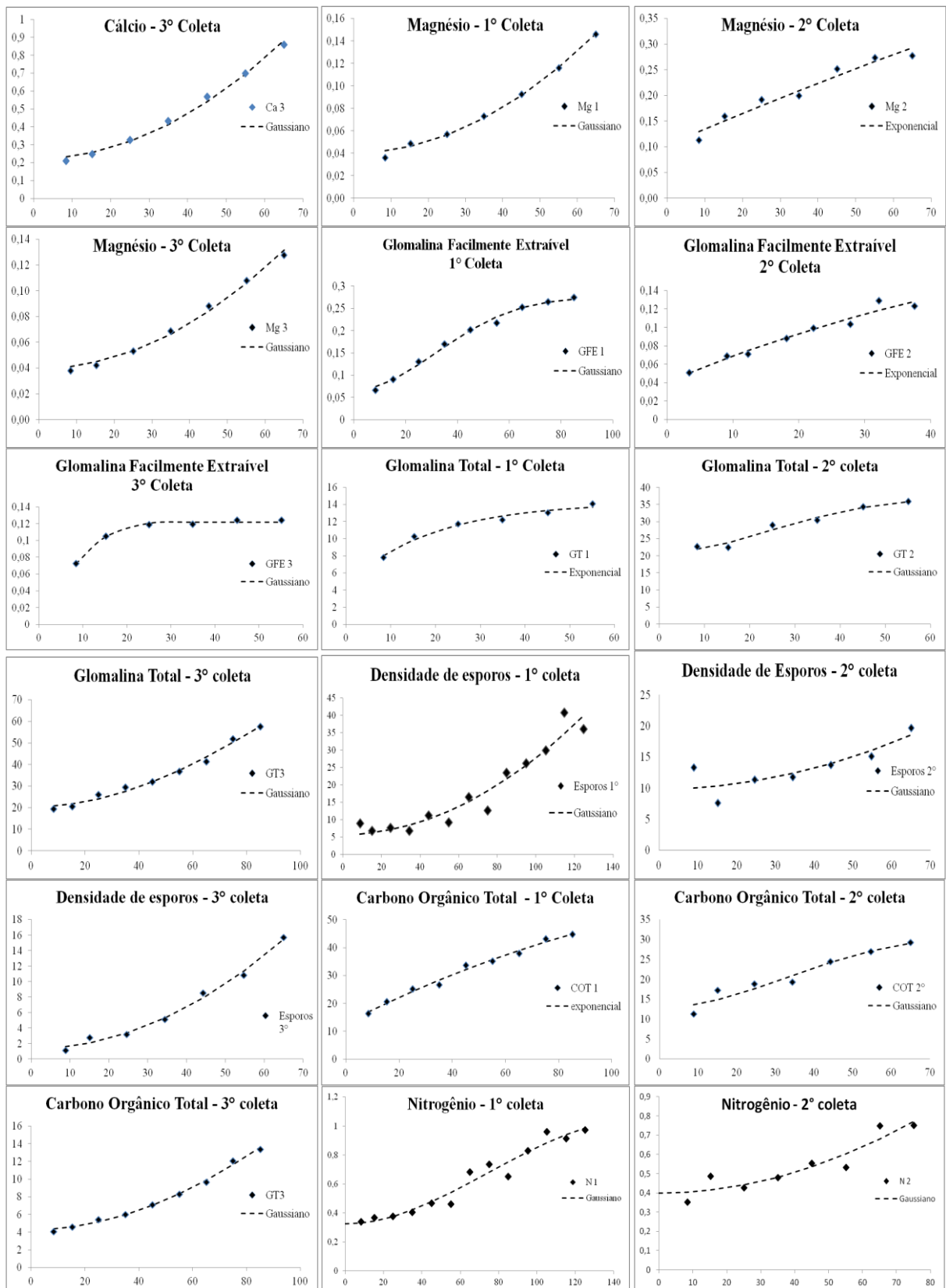
\*C<sub>0</sub> – efeito pepita; C<sub>1</sub>– variância estrutural; a – alcance; RA = C<sub>0</sub>/(C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>) = Razão de aleatoriedade; GFE - Glomalina Facilmente Extraível; GT - Glomalina total; Esporo – Densidade de esporos; COT – Carbono Orgânico Total; pH – Potencial Hidrogenionico; K – Potássio; P – Fósforo; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; N - Nitrogênio.

O modelo que melhor se ajustou para as variáveis GT e COT na 1ª coleta e Ca na 1ª e 2ª coleta foi o modelo exponencial. Para todas as demais, o modelo que melhor se ajustou foi o gaussiano. A Razão de aleatoriedade, que representa a relação e influência de um ponto sobre outros pontos, foi baixa para os atributos elevação, GFE 1ª coleta, densidade de esporos, COT 3ª coleta, pH, Ca e Mg, assim podemos inferir que eles apresentaram alta dependência espacial e baixa aleatoriedade.

A Figura 6 apresenta os semivariogramas experimentais, onde o eixo x representa os valores das distâncias (metros) e o eixo y apresenta os valores da semivariância. Analisando os semivariogramas conclui-se que há dependência espacial dos atributos do solo. Isto permite a utilização da krigagem para interpolar os dados e gerar mapas temáticos para a visualização da distribuição espacial das variáveis na área.



**Figura 6.** Semivariogramas Experimentais dos 32 atributos de solo avaliados na 1ª, 2ª (2013) e 3ª (2014) coletas no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense.\* Eixo x = Distância (metros); eixo y = semivariância.



**Figura 7 (continuação).** Semivariogramas Experimentais dos 32 atributos de solo avaliados na 1ª, 2ª (2013) e 3ª (2014) coletas no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense.\* Eixo x = Distância (metros); eixo y = semivariância.

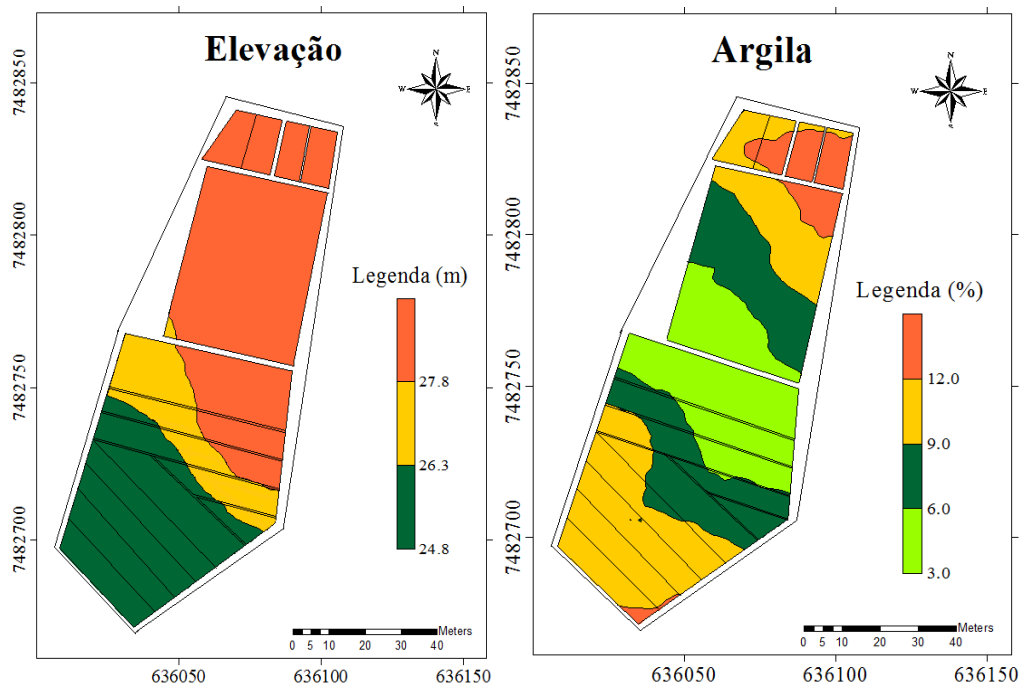
### 4.3. Variabilidade Espacial dos atributos

Os parâmetros dos modelos dos semivariogramas foram utilizados para estimar os valores dos atributos em locais não amostrados, gerando mapas de distribuição espacial para a área total para cada variável.

#### 4.3.1. Elevação e argila

A Figura 7 apresenta os mapas de Elevação e de Argila, com a separação de 3 e 4 classes, respectivamente, cada classe foi representada por diferentes cores. A elevação variou de 24,8 a 29,0 metros, assim a área foi classificada como de relevo plano.

Apesar desta pequena diferença a elevação influencia os demais atributos, principalmente pelo tipo de solo encontrado no Módulo de cultivo, classificado como um Planossolo Haplico. Esta classe de solo caracteriza-se por apresentar Horizonte E arenoso, seguido por um Horizonte B argiloso e compacto em pequena profundidade. Desta forma à medida que a elevação diminui, mais próximo a superfície se encontra o Horizonte B, que limita o crescimento radicular das plantas e a infiltração de água. Durante o ano ocorrem ciclos de alagamento prolongado nas parte com menor elevação no Módulo de cultivo.



**Figura 8.** Mapas de variabilidade espacial de Elevação e Argila no ano de 2013 no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense.

A argila apresentou variação de 3 a 16  $\text{g.kg}^{-1}$  teores considerados baixíssimos. Nota-se que a topografia (elevação) influencia no conteúdo de argila, na cota alta há maiores conteúdos de argila, na encosta a argila é transportada, ocorrendo acúmulo de argila na cota mais baixa. Isto refletirá nos demais atributos avaliados como pode ser visto a frente. O predomínio de areia nos solos apresenta uma série de características desfavoráveis, como: solos com pouca ou nenhuma agregação, microporosidade deficiente, como consequência apresenta baixa capacidade de retenção de água; baixa superfície específica e baixa capacidade de troca catiônica. São solos com alta lixiviação e, consequentemente, mais pobres

em nutrientes, apresentam maiores flutuações de temperatura, dessa forma, favorecendo a mineralização acelerada da matéria orgânica e dificultando a sua acumulação. Em contrapartida, apresenta características favoráveis como: maior macro porosidade, consequentemente, boa aeração e fácil preparo mecânico do solo (Kiehl, 1979).

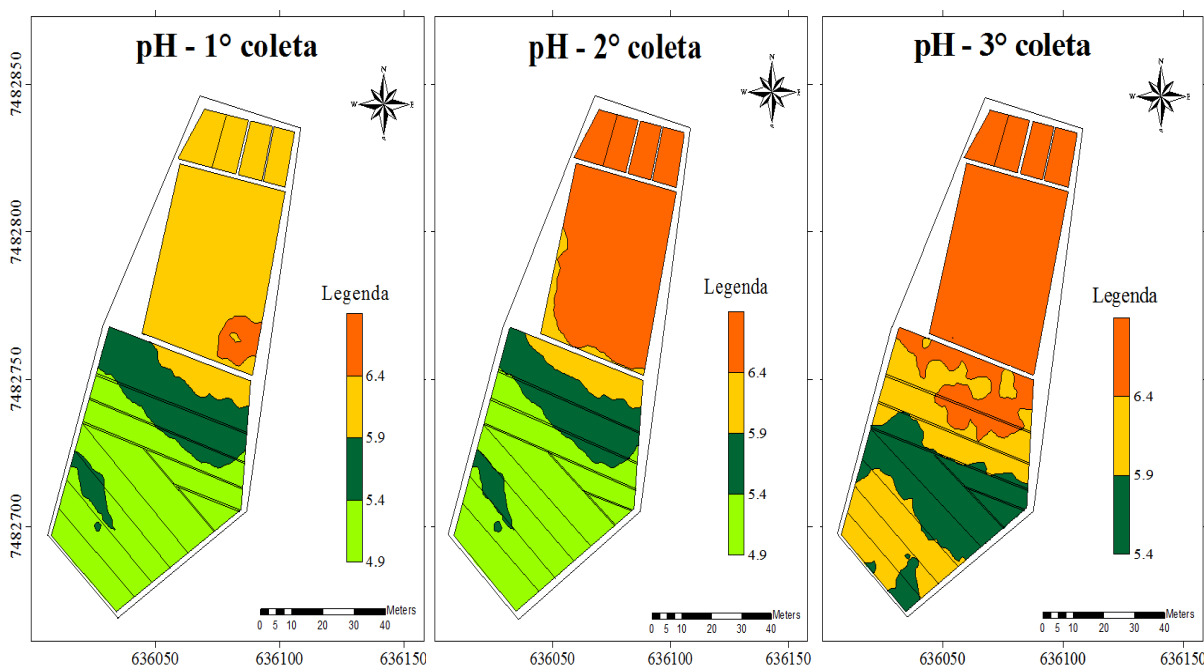
Este baixo conteúdo de argila consiste no maior desafio encontrado no manejo da área experimental, na manutenção da produtividade agrícola sem a perda da matéria orgânica, fertilidade do solo e demais indicadores de qualidade do solo. Diversas literaturas recomendam o cultivo de plantas perenes, semi-perenes ou de ciclo longo em solos arenosos, sem o manejo intensivo do solo (Pinheiro, 2000). O contrário do que foi preconizado ao implantar o Módulo de cultivo, o qual tem o objetivo de estar próximo à realidade agrícola da baixada fluminense, que é o cultivo intensivo de hortaliças para abastecer as grandes cidades do estado do Rio de Janeiro.

#### 4.3.2. Potencial Hidrogênionico

Dentre os atributos utilizados como indicadores de qualidade dos solos o pH é amplamente utilizado, pois se modifica em um curto período, de fácil determinação, sendo um limitante para o desenvolvimento das culturas agrícolas.

De modo geral, a maioria das culturas agrícolas tem seu desenvolvimento favorecido com o pH do solo na faixa de 5,5 a 6,5. O aumento da disponibilidade às plantas dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) é favorecida em pH na faixa de 6 a 6,5. Quando o pH do solo encontra-se com valores menores que 5,5 aumenta a possibilidade de problemas acarretados por elevados teores de Al e Mn que são tóxicos às plantas.

Os solos da região são naturalmente ácidos, devido ao material de origem e ao intemperismo (clima e organismos) atuando intensivamente na sua formação. A Figura 8 apresenta a distribuição do pH no Módulo de cultivo, na 1ª coleta ele variou de 5,57 a 6,69, na 2ª coleta a variação foi de 5,97 a 7,03 e variou de 4,68 a 7,29 na 3ª coleta. Pode-se visualizar a elevação do pH em toda a área do Módulo de cultivo ao longo das coletas.



**Figura 9.** Mapas de variabilidade espacial de pH na 1ª, 2ª (ano de 2013) e 3ª (2014) coletas no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense.

Os parâmetros adotados no estado do Rio de Janeiro consideram que são solos extremamente ácidos aqueles que apresentam valores abaixo de 4,4; fortemente ácidos com valores entre 4,4 e 5,3; moderadamente ácidos com valores entre 5,4 e 6,5; praticamente neutros com valores entre 6,6 e 7,3; moderadamente alcalinos com valores entre 7,4 e 8,3 e, por fim, fortemente alcalinos com valores acima de 8,3 (Freire et al., 2013).

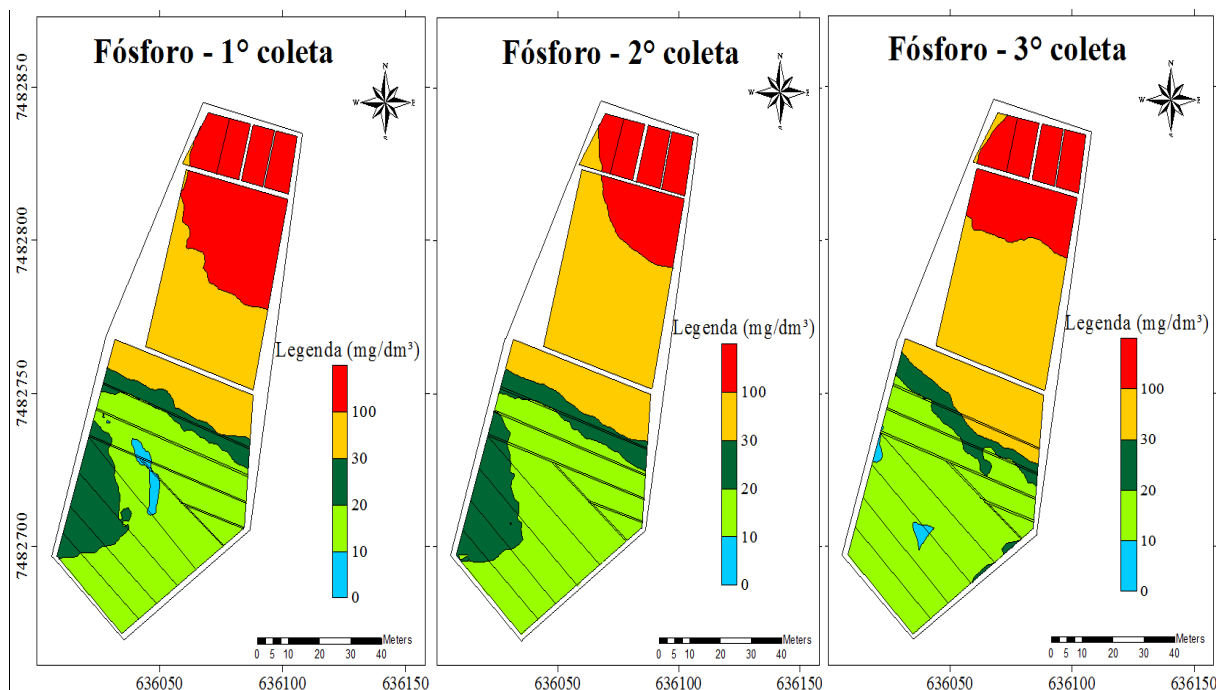
Seguindo estes parâmetros os solos do Módulo de cultivo vão de fortemente ácidos, moderadamente ácidos a neutros. Houve uma elevação da classe neutra da 1ª para a 2ª coleta e para a 3ª coleta, e conseqüente diminuição da classe fortemente ácida e moderadamente ácida. A área da Capineira concentrou os menores valores, na 1ª e 2ª coleta apresentou a classe fortemente ácidos e na 3ª manteve a classe moderadamente ácidos. A área de cultivo de hortaliças apresentou os maiores pH e aumento dos teores ao longo do ano de produção, conforme observado nos mapas.

A constante adição de cobertura vegetal, resíduos culturais e adubos em processo de humificação, como bokashi e composto vegetal, podem explicar a elevação do pH. Diversos trabalhos relatam a elevação do pH em solos ácidos após a adição de materiais orgânicos, resíduos vegetais, especialmente os provenientes de adubos verdes. Algumas espécies de adubos verdes apresentam maiores teores de cátions e ácidos orgânicos de baixa massa molecular na fração carbono orgânico solúvel, capazes de consumir  $H^+$  da solução do solo mediante a protonação dos grupamentos funcionais, refletindo potencial efetivo em minimizar a acidez do solo (Miyazawa et al., 2000; Franchini et al., 2003).

#### **4.3.3. Fertilidade do solo**

A fertilidade do solo é um atributo importante para o acompanhamento da qualidade do solo, sendo um indicador de fácil mensuração e que já apresenta padrões de qualidade estabelecidos. Os teores dos macronutrientes presentes nos solos são base para o monitoramento de sistemas agrícolas. Uma vez que as plantas e sua produção refletem diretamente a presença desses nutrientes, o seu acompanhamento possibilita intervenções (adubações, rotação de cultivos, manejos diferenciados, etc.) necessárias para que os recursos do solo não sejam exauridos e a produtividade do sistema seja mantida.

Foram avaliados os teores de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio dos solos em cada coleta, com o objetivo de avaliar como cada cultivo e manejos de solo estão atuando sobre a fertilidade do Módulo de cultivo. A Figura 9 representa os mapas de variabilidade espacial dos teores de fósforo, diferenciados em 5 classes de acordo com os parâmetros adotados no estado do Rio de Janeiro. Os parâmetros utilizados no estado do Rio de Janeiro para os teores de fósforo no solo são classificados em quatro níveis: baixo, com valores abaixo de  $10 \text{ mg.dm}^{-3}$ ; médio, com valores entre 11 e  $20 \text{ mg.dm}^{-3}$ ; alto, com valores entre 21 e  $30 \text{ mg.dm}^{-3}$ ; e muito alto, com valores acima de  $30 \text{ mg.dm}^{-3}$  (Freire et al., 2013). A classe acima de  $100 \text{ mg.dm}^{-3}$  foi incluída uma vez que teores de fósforo acima deste valor inibem a colonização de fungos micorrízicos arbusculares (Silva et al., 2009)



**Figura 10.** Mapas de variabilidade espacial de teores de fósforo na 1ª, 2ª (2013) e 3ª (2014) coletas no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica.

Os teores variaram de 2,48 a 261,4  $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  na 1ª coleta, de 2,48 a 185,4  $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  na 2ª coleta e de 3,70 a 191,9  $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  na 3ª coleta. As classes baixo, médio e alto se concentram na Capineira e em parte do subsistema gliricídia. Já os teores muito altos se concentram na área de produção intensiva de hortaliças (Policultivo, Tomate/quiabo, Couve e Telado).

Visualmente não se observam diferenças entre os subsistemas de cultivo de hortaliças e entre as coletas, porém quando se observam os teores, sem diferenciar classes, pode-se detalhar a diferença entre os subsistemas e as coletas.

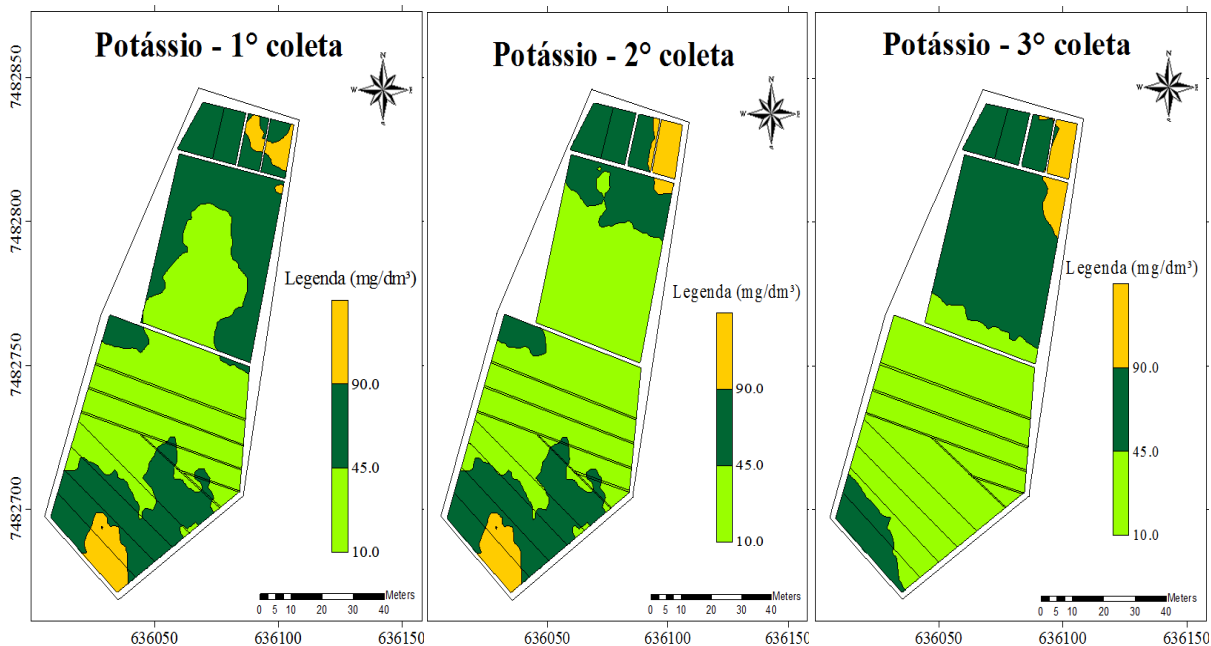
O manejo com o menor revolvimento de solo (Tomate/quiabo) apresentou os maiores teores de fósforo em todas as coletas, seguido pelo Telado. Entre a Policultivo, Gliricídia e Couve não foram observadas diferenças. Nestas áreas de cultivo intensivo de hortaliças há grande exportação de nutrientes via colheita, porém há constante aporte de nutrientes via adubação e com o uso de cobertura vegetal durante o ciclo de hortaliças. Também existe o aporte de nutrientes com o uso de adubos verdes na rotação de cultivos.

Já o subsistema Capineira apresentou os menores teores, o que indica a necessidade de intervenção no manejo, no sentido de elevar os estoques de fósforo do solo evitando o maior empobrecimento do solo e possivelmente elevando a produtividade das culturas presentes nesta área. Verifica-se uma tendência de diminuição dos teores da 1ª coleta para as demais, isto demonstra que a diferença entre os nutrientes extraídos e os aportados é negativa. Porém, não tão preocupante, uma vez que os níveis nos subsistemas de produção são classificados como muito altos.

O cultivo com intensa exposição do solo à mineralização proporciona perdas de fósforo orgânico, bem como o predomínio de formas mais recalcitrantes (menos lábeis). Essas alterações resultam em menor participação do P-orgânico como fonte de P para as plantas, de modo que o suprimento desse nutriente às plantas fica restrito à fase mineral. Tornando o sistema cada vez mais dependente do suprimento de fertilizantes (Novais et al., 1999). A forma e a dinâmica do P no solo podem ser afetadas significativamente por mudanças no uso

da terra, incluindo mudanças na cobertura vegetal, na produção de biomassa e na ciclagem de nutrientes (Magid et al., 1996).

Continuando a interpretação dos resultados de fertilidade do solo, a Figura 10 representa os mapas de variabilidade espacial dos teores de Potássio, nas 3 coletas. Os mapas foram divididos em 3 classes seguindo as classificações utilizadas para interpretação da fertilidade dos solos. Os parâmetros utilizados no estado do Rio de Janeiro para os teores de potássio no solo são classificados em quatro níveis: baixo, com valores abaixo de 45; médio, com valores entre 46 e 90; alto, com valores entre 91 e 135; e muito alto, com valores acima de 135 (Freire et al., 2013).



**Figura 11.** Mapas de variabilidade espacial de teores de potássio na 1ª, 2ª (2013) e 3ª (2014) no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense.

Os teores de potássio variaram de 4,0 a 248,0  $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  na 1ª e 2ª coleta e de 7,0 a 200,0  $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  na 3ª coleta. Sendo classificados em baixo, médio e alto. Observa-se que o subsistema Tomate/quiabo apresentou teores elevados em todas as coletas e a parte mais inferior do Módulo de cultivo também apresentou a classe alta. Nas demais áreas as classes baixa e média mesclaram-se.

Vale considerar que esta parte inferior do Módulo de cultivo, no subsistema Capineira, apresenta uma condição diferenciada dos demais subsistemas, pois um pequeno córrego corta a divisa do Módulo de cultivo, proporcionando melhor umidade, fertilidade e matéria orgânica que os demais solos da Capineira.

Os subsistemas Gliricídia e Capineira apresentaram os teores mais baixos, com pequena diferença entre as coletas, assim como os teores de fósforo. Possivelmente devido ao baixo aporte de nutrientes que existe nesta área e grande exportação para as áreas de produção de hortaliças (tomate/quiabo, Policultivo, Couve e Telado). Esta gestão de biomassa dentro do Módulo de Cultivo é responsável pela manutenção da alta produtividade de hortaliças, porém também resulta neste desbalanço nutricional do sistema. Indicando a necessidade de reposição dos nutrientes das áreas de produção de biomassa.

Outro padrão interessante foi a distribuição do nutriente nos subsistemas Couve e Policultivo, a 2ª coleta apresentou conteúdos menores que a 1ª e 3ª coleta. Demonstrando a



grande exportação de nutrientes do cultivo intensivo de hortaliças, por outro lado demonstra que os cultivos de adubos verdes presentes antes da 1ª e da 3ª coleta restauraram os teores de potássio da área. No subsistema Tomate/quiabo a 1ª coleta apresentou os menores valores, já para o Telado a situação inverte.

Vale ressaltar o resultado do subsistema Policultivo, onde o ciclo de hortaliças mais afetou na disponibilidade do potássio, observada pela queda do nutriente na segunda coleta realizada após o ciclo de hortaliças. Devido, possivelmente, a intensa produção de hortaliças folhosas na área, sabe-se que estas são mais exigentes e tem maior exportação deste nutriente quando comparadas as demais hortaliças fruto e raiz. Em média uma cabeça de alface apresenta  $75 \text{ g.kg}^{-1}$  de potássio e  $35 \text{ g.kg}^{-1}$  de nitrogênio, já a couve folha apresenta  $38 \text{ g.kg}^{-1}$  de potássio e  $45 \text{ g.kg}^{-1}$  de nitrogênio. Existe a hipótese da diminuição do elemento devido a lixiviação pela irrigação frequente e pela chuva constante.

Dando sequência ao monitoramento da fertilidade dos solos, a Figura 11 representa os mapas de variabilidade espacial dos teores de Cálcio e Magnésio. Os mapas de cálcio foram divididos em 4 classes, com diferenças de  $1,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$  entre as classes. Os mapas de magnésio foram diferenciados em 3 classes de  $1,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$  para cada. Os teores de cálcio variaram de 0 a  $4,35 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$  para a 1ª e 2ª coleta e de 0 a  $4,65 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$  na 3ª coleta. Para o magnésio os teores foram de 0,04 a  $2,11 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$  na 1ª coleta, de 0,04 a  $2,42 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$  e de 0,10 a  $1,63 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$  na 3ª coleta.

Os parâmetros utilizados no estado do Rio de Janeiro para os teores de cálcio + magnésio no solo são classificados em quatro níveis: baixo, com valores abaixo de 2; médio, com valores entre 2,1 e 6; alto, com valores entre 6,1 e 10; e muito alto, com valores acima de 10 (Freire et al., 2013). Os mapas apresentam os teores de cálcio e magnésio separados, onde o nível baixo esta representado pela cor verde claro e escuro, e o nível médio, representado pelas cores amarela e laranja.

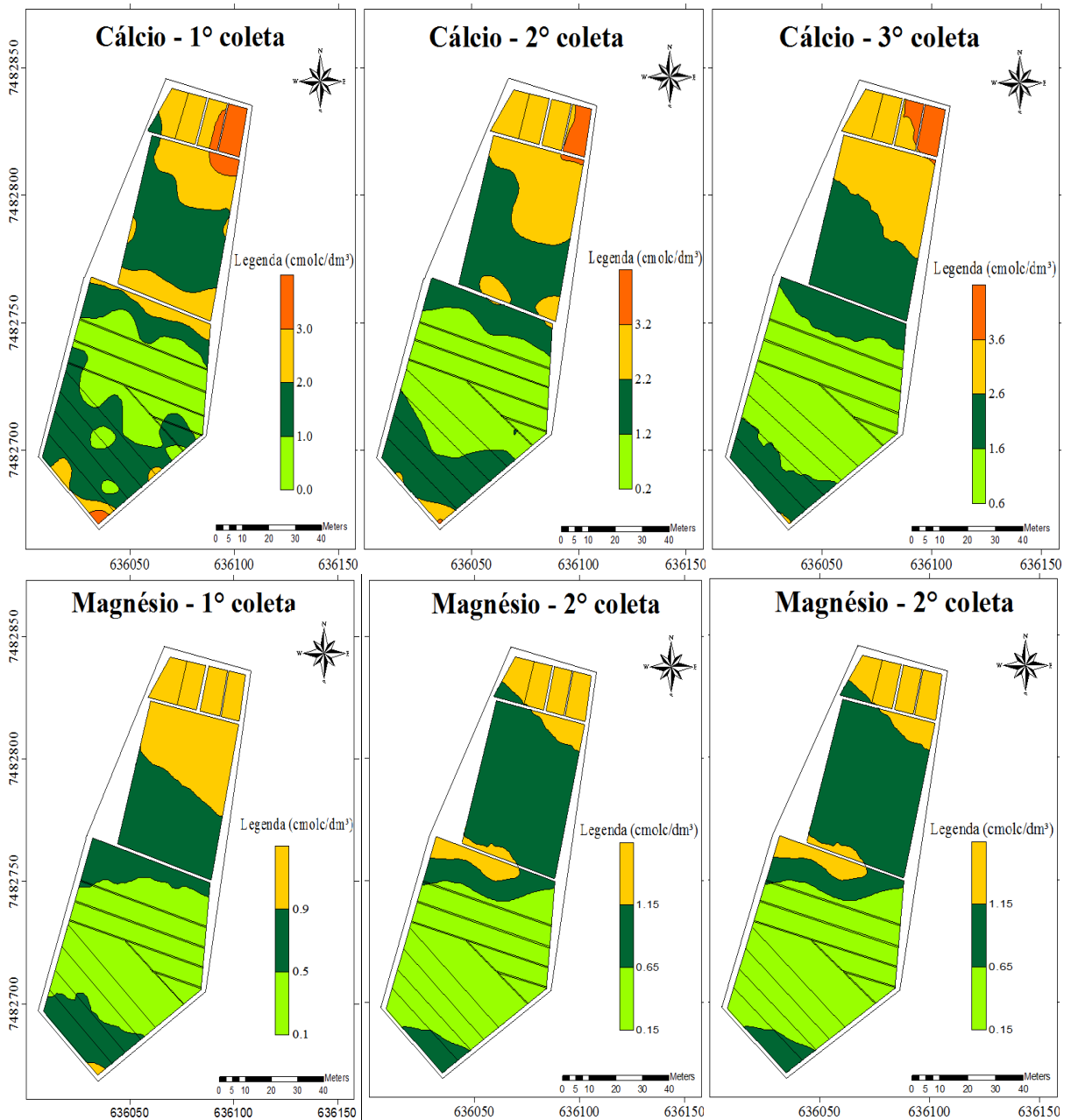
De maneira geral, a distribuição das classes seguiu mesmo padrão dos demais atributos já apresentados, elevação, argila, pH, fósforo e potássio, a área superior destinada ao cultivo de hortaliças apresenta os teores mais elevados, ocorre uma queda nos teores na área com menos argila (Gliricídia e Capineira) e volta a se elevar parte baixa. Apenas com a criação dos mapas temáticos podemos realizar a descrição e a correlação dos atributos desta forma espacial.

A análise estatística dos subsistemas de forma separada permite afirmar que o subsistema Tomate/quiabo proporcionou os valores mais elevados de cálcio, seguido pelo Telado. Entre os subsistemas Couve, Policultivo e Gliricídia não foram observadas diferenças significativas. Seguindo a tendência dos outros nutrientes a Capineira apresentou os menores teores. A 3ª coleta superou as demais nos subsistemas Telado e Capineira.

O magnésio apresentou a mesma diferença entre os tipos de subsistemas nas três épocas de coleta, de modo que não houve efeito da interação entre fatores. Analisando o efeito principal de cada fator verifica-se que o subsistema Tomate/quiabo superou as demais e a Capineira ficou abaixo dos demais subsistemas. Entre as coletas observa-se que a 3ª coleta superou as demais.

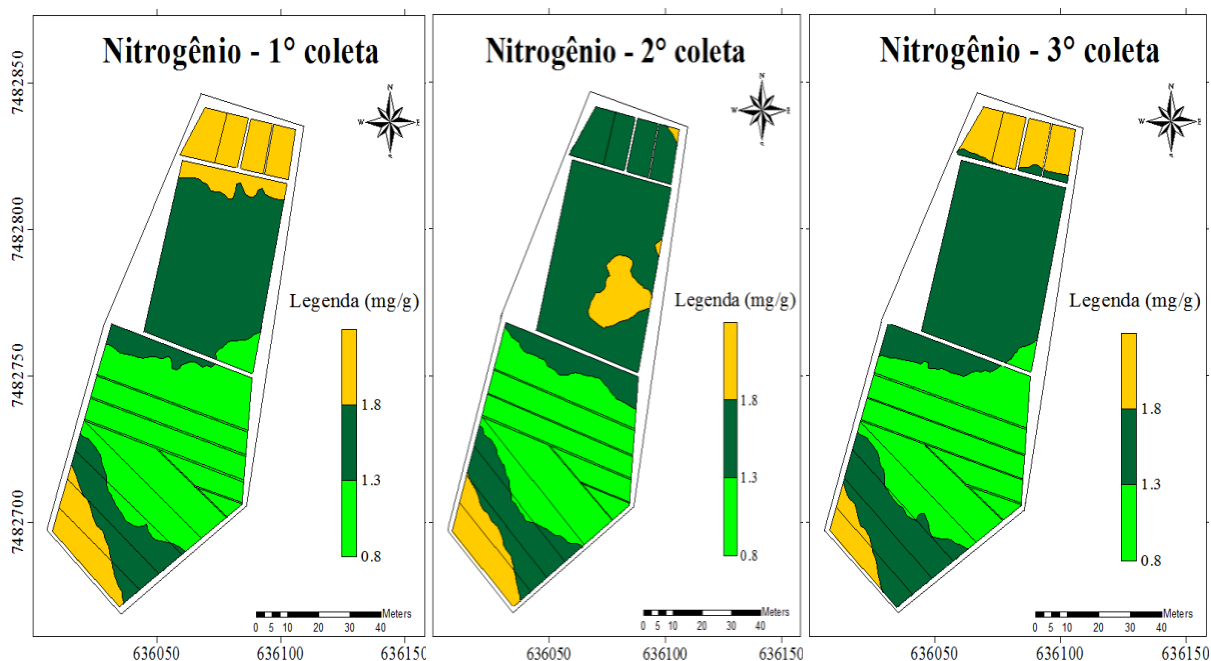
Tanto para cálcio como para magnésio houve o aumento dos teores da 1ª para a 3ª coleta, mesmo padrão observado para o pH. Há uma relação entre o pH e os teores Ca+Mg, uma vez que ambos atuam na disponibilidade de outros nutrientes regulando a capacidade de troca catiônica (CTC). A adição de Cálcio e Magnésio nos solos aumenta a soma de bases, aumentando a quantidade de íons  $\text{OH}^+$  nos solos, aumentando o pH do solos e também aumentando a superfície de adsorção das partículas de argila dos solos. Comumente a adição destes cátions ocorre quando os níveis de pH estão abaixo dos recomendados para os cultivos

agrícolas, cenário muito comum nos países tropicais que apresentam solos naturalmente ácidos.



**Figura 12.** Mapas de variabilidade espacial de teores de Cálcio e Magnésio na 1ª, 2ª (2013) e 3ª (2014) no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica.

Os teores de nitrogênio total das 3 épocas de coleta estão representados nos mapas temáticos (Figura 12). O nitrogênio não apresenta valores de referência, as classes apresentadas no mapa seguem distribuição uniforme e equitativa para facilitar a visualização. De modo geral a concentração de nitrogênio total é baixa em solos tropicais, estando o nitrogênio armazenado na matéria orgânica do solo ou na biomassa do solo. Além disso, o método de determinação do nitrogênio total quebra as moléculas de matéria orgânica do solo para liberação do nitrogênio ali contido para posterior quantificação. Porém não se pode afirmar que este nitrogênio estará disponível para a planta.



**Figura 13.** Mapas de variabilidade espacial de teores de nitrogênio na 1ª, 2ª (2013) e 3ª (2014) no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica.

A concentração de nitrogênio em todos os tratamentos é considerada baixa, em consequência da classe textural arenosa dos solos e aos baixos teores de matéria orgânica. De modo geral pode-se observar distribuição semelhante entre argila e os demais atributos, seguindo a topossequência da área. Comparando os subsistemas nota-se que Gliricídia e Capineira apresentaram os menores teores de nitrogênio, assim como os menores teores de argila. Em concordância com os resultados de correlação de Pearson.

Houve uma tendência dos teores de nitrogênio serem menores na 2ª coleta, consequência do ciclo intensivo de hortaliças, associado ao manejo intensivo e o uso de adubos com alta atividade biológica, que aceleram a mineralização do nitrogênio e da matéria orgânica, além da possível lixiviação pelo sistema de irrigação e chuvas constantes no ano.

A exceção a esta tendência foi o subsistema Policultivo, Telado e Couve que tiveram os teores de nitrogênio na 2ª coleta superiores que as demais coletas. Para explicar estes resultados vale relembrar as culturas utilizadas neste subsistema durante este período entre a 1ª e a 2ª coleta. A grande maioria (70% da área) das hortaliças são folhosas de ciclo curto (alfaces e chicória), complementadas por solanáceas, cucurbitáceas e leguminosas, onde são produzidos 4 ciclos de folhosas ao longo dos 8 meses de cultivo intensivo. A cada novo ciclo, novas adubações são feitas, resultando em uma maior entrada de nutrientes neste subsistema em relação aos demais. Estes também são cultivados com hortaliças, porém de ciclo mais longo ou com menor exigência nutricional. Assim a entrada de nutrientes nesse subsistema é maior que nos demais e apesar da alta exportação de nutrientes ocorre um balanço positivo de nitrogênio. Para outros elementos, como potássio e fósforo, o balanço foi negativo, ou seja, a entrada de nutrientes não superou a exportação pelas colheitas.

Vale considerar ainda que os cálculos de todas as adubações do sistema de produção se baseiam na necessidade de cada cultura (exportação) e dos teores de nitrogênio de cada adubo, o que pode levar a erros nas necessidades de P e K. Além disso, quando se utilizam adubos orgânicos e coberturas mortas os cálculos não são precisos, o fator de liberação dos nutrientes pelo adubo não é preciso e elevado, como os adubos sintéticos. Ou seja, não se

pode afirmar que 100% do que está sendo aplicado está sendo disponibilizado para as plantas. Para tentar melhorar este problema é estimado um fator de liberação de 70% para a base de cálculo. O que pode resultar em superestimativas e subestimativas das necessidades de adubação de cada cultura.

Em resumo, o sistema de produção afetou a fertilidade de diferentes formas, os teores de pH, Ca, Mg se elevaram ao longo do ano avaliado, já o contrário ocorreu com os teores de fósforo. Os teores de potássio apresentaram-se de diferentes formas, decrescendo (Telado, Capineira e Gliricídia) ou diminuindo após o ciclo de hortaliças e voltando a se elevar (Policultivo e Couve), ou mesmo elevando seus teores (Tomate/quiabo). Apesar de todas estas variações os resultados alertam para a necessidade de adubações mais equilibradas de N, P e K e principalmente as correções de deficiências nos subsistemas Capineira e Gliricídia.

#### 4.3.4. Matéria Orgânica do Solo

A avaliação espaço-temporal de Carbono Orgânico Total do Solo (COT) é apresentada na Figura 13, como forma de medir indiretamente os conteúdos de MOS.

A amplitude na 1ª coleta foi de 0,07% a 2,69%, já a amplitude da 2ª coleta foi de 0,17% a 2,69% e na 3ª coleta foi de 0,19% a 1,56%. Analisando os mapas de COT, observamos que não ocorreu um aumento significativo dos teores da 1ª coleta para a 2ª coleta, porém ocorreu uma considerável diminuição do conteúdo da 2ª para a 3ª coleta. O mapa da 3ª coleta foi subtraído do mapa da 1ª coleta a fim de observar a variação entre estas coletas. Observa-se que ocorreu a diminuição dos conteúdos de carbono em toda a área, variando de -0,2% a -1,1%.

Seguindo a tendência da argila e demais atributos, as classes mais altas localizam-se na parte superior do Módulo de cultivo, onde se localiza o subsistema Tomate/quiabo e Telado. Observa-se que a área da Capineira concentrou as classes mais baixas, exceto na parte mais inferior do Módulo de cultivo para a 1ª e 2ª coleta.

Houve uma diminuição dos teores da 2ª para a 3ª coleta em quase todos os subsistemas. Vale ressaltar o comportamento do COT no Telado, onde a 2ª coleta superou as demais. Para os outros subsistemas não houve diferença significativa entre a 1ª e a 2ª coleta.

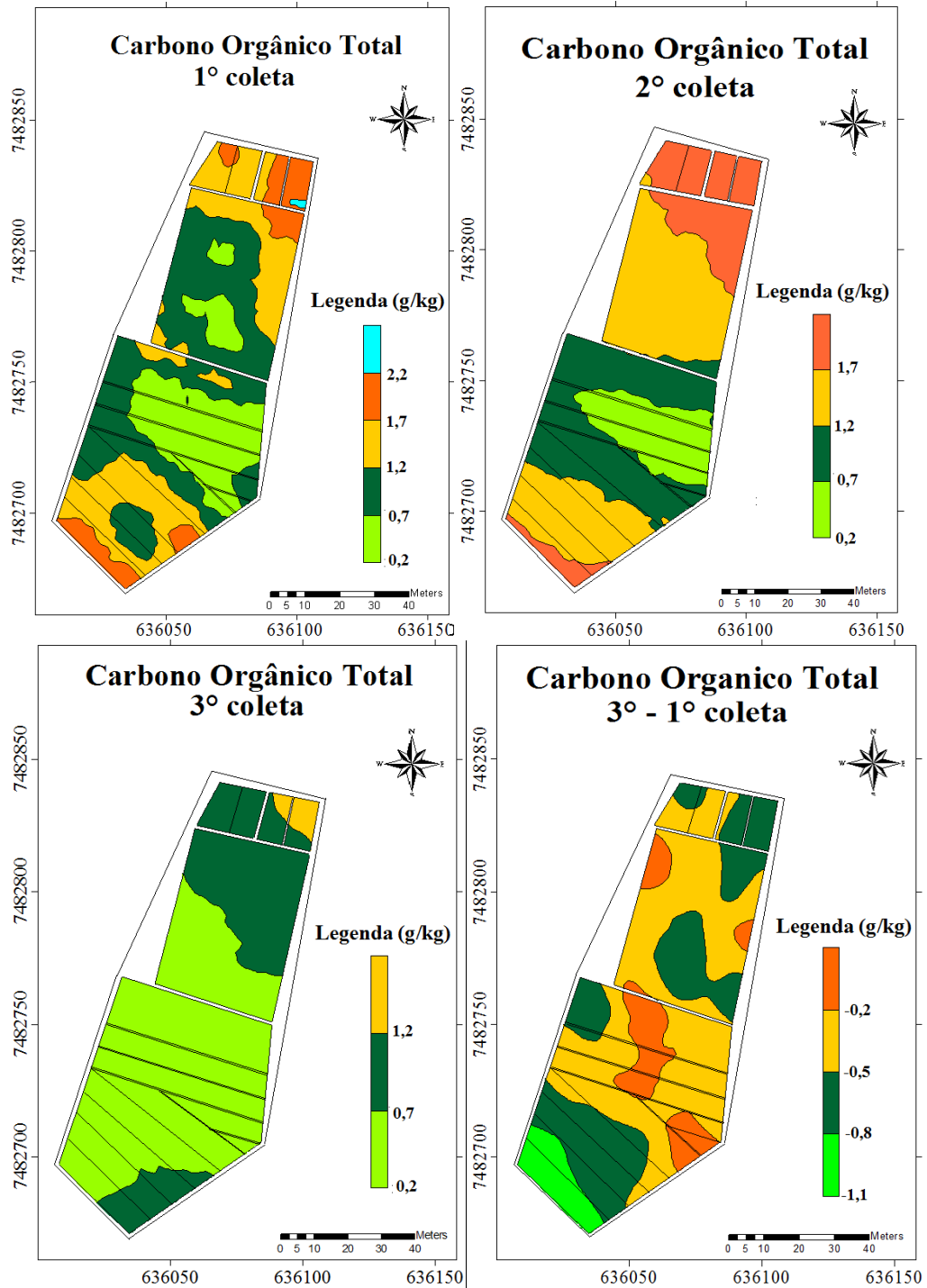
Apesar dos esforços na tentativa de elevar e manter a matéria orgânica do solo, através da utilização de adubação verde e na incorporação de restos vegetais ao solo, o conteúdo de COT não apresentou elevação. Algumas explicações podem ser fornecidas para este fenômeno.

Primeiro fator é o elevado teor de areia nos solos do Módulo de cultivo. Diversos estudos apontam a fragilidade dos solos arenosos em manter a MOS, agravado pelas altas temperaturas e a disponibilidade de água durante todo o ano (Goedert & Oliveira, 2007). Silva & Mendonça (2007) detalham a importância da argila na manutenção do teor de carbono no solo, fundamentada na capacidade da MOS em formar diversas ligações com partículas de alta superfície específica como argila e silte, possibilitando a proteção coloidal da MOS, sendo esta mais atuante nas camadas mais superficiais do solo. Ressaltam também o papel da argila na formação de agregados estáveis, protegendo a MOS dos microrganismos.

Outro fator é o manejo intensivo do Módulo de cultivo, com grande exportação de nutrientes e revolvimento do solo, onde a cada ciclo produtivo de hortaliça é necessário levantar novamente os canteiros. Para diminuir a movimentação do solo, os canteiros são levantados de forma manual, o uso do arado e encanteirador mecânico ocorrem uma vez ao ano, no início da produção de hortaliças.

A ciclagem interna de nutrientes, que ocorre principalmente no manejo da biomassa, onde as áreas de Gliricidia e Capineira atuam como fonte de nutrientes para a área destinada a

plântio de hortaliças. Ocorre constante exportação de nutrientes, principalmente carbono e nitrogênio (fundamentais para formação de matéria orgânica), e baixa adição de nutrientes resultando em um desbalanço nutricional. Para manter os teores nutricionais das áreas de produção de biomassa é realizado o aporte de insumos externos ao módulo de cultivo (torta de mamona).



**Figura 14.** Mapa de variabilidade espacial de Carbono Orgânico Total (COT) na 1ª, 2ª (ano de 2013) e 3ª (2014) e diferença espaço temporal entre a 1ª e 3ª coleta no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense.

Importante considerar a adubação realizada no Módulo de cultivo, que não utiliza fontes de origem animal, baseada no bokashi, na torta de mamona, na compostagem vegetal e no uso de coberturas mortas. Aproximadamente 70% de todos os nutrientes adicionados no sistema de produção são originários do bokashi<sup>1</sup>. A torta de mamona é utilizada como complemento e fonte de nitrogênio.

O bokashi atua no sistema como fonte de nutrientes, como inoculante de microrganismos, ou ativador biológico do solo, acelerador da decomposição de materiais vegetais e formação da matéria orgânica, assim como sua mineralização. Assim apesar dos esforços para adição de cobertura vegetal, compostagem, todo material adicionado é consumido pela comunidade microbiana e não forma frações estáveis, passando apenas pelo processo de formação de frações lábeis de matéria orgânica (frações leves e ácido fúlvicos). Para promover a acumulação de matéria orgânica em sistemas abertos é preciso algum fator de inibição atuação dos decompositores, seja por temperatura (frio), aeração (áreas alagadas), deficiência de nutrientes (áreas de mata com baixa disponibilidade de N). Em regiões de clima tropical as condições naturais favorecem a atuação de decompositores e assim dificultam a acumulação de matéria orgânica no sistema solo (Moreira & Siqueira, 2002).

Associado a esta adição de microrganismos no solo está o conhecido efeito “priming” que consiste na ativação e acréscimo dos microrganismos na medida em que há disponibilidade de substrato orgânico, uma vez ativada a comunidade microbiana do solo crescerá a mineralização da fração leve da matéria orgânica do solo e depois das substâncias húmicas (matéria orgânica mais estável) acarretando a redução da MOS anteriormente acumulada. Jenkinson et al. (1985) e Kuzyakov et al. (2000) atribuíram ao efeito “priming” o aumento da mineralização basal do carbono do solo, principalmente quando resíduos orgânicos facilmente decomponíveis, como adubos verdes e palha, são adicionados ao solo. Ou seja, a adição de N em sistemas deficientes em N acelera a decomposição da matéria orgânica.

A queda do COT do Módulo de cultivo já havia sido notada por Mata (2012) nos anos de 2010 a 2011, porém o sistema de produção de hortaliças não foi alterado, apenas ocorreram mudanças na distribuição de culturas nos subsistemas Capineira e Gliricídia.

No sentido de entender a dinâmica da MOS, fez-se o fracionamento físico e químico das substâncias húmicas nas três coletas. O grid utilizado foi maior (25x25m) e os pressupostos da geoestatística não foram atendidos, não sendo possível gerar mapas de distribuição dos atributos no solo. Assim foi utilizada a estatística clássica para a interpretação dos resultados. Os teores de carbono referente às frações leve-livre e húmicas são apresentados na Tabela 7 de acordo com cada coleta e subsistema avaliado.

A fração húmica (C-HU) predominou em detrimentos das demais frações. Maiores quantidades dessa fração também foram reportadas por Loss et al. (2010) e Canellas et al. (2004), estudando áreas no município de Seropédica-RJ. Souza & Mello (2003) afirmam que quanto maior o valor de C-HU no solo maior é a agregação, retenção de cátions e umidade. As frações C-FAF e C-FAH são menos estáveis e, provavelmente, são polimerizadas e mineralizadas, o que explica suas menores taxas nos solos (Fontana et al., 2010).

A fração húmica foi superior no subsistema Tomate/quiabo, os subsistemas Couve, Telado e Policultivo foram estatisticamente iguais e o subsistema Capineira foi o mais baixo, estes resultados seguiram a tendência do COT. Stevenson (1982) afirma que o acúmulo de húmica no solo possivelmente esteja relacionado à ligação estável que existe entre esse componente e a parte mineral do solo, como também a maior resistência à decomposição.

---

<sup>1</sup> Dados de balanço de nutrientes ainda não publicados.

**Tabela 7.** Teores de carbono orgânico total (COT), carbono da fração ácido húmico (C-FAH), carbono da fração ácido fúlvico (C-FAF), carbono da fração humina (C-HU) e carbono da fração leve-livre (C-FLL) nos diferentes subsistemas e na 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> (2013) e 3<sup>a</sup> (2014) coleta no Módulo de cultivo.

Coleta	Tomate/quiabo	Telado	Couve	Policultivo	Gliricidia	Capineira
<b>COT (g.kg<sup>-1</sup>)</b>						
1	2,255 aA	1,526 bB	1,617 aB	1,487 aB	1,535 aB	0,423 aC
2	2,297 aA	1,960 aAB	1,620 aB	1,760 aB	- -	- -
3	1,423 bA	1,110 cAB	0,990 bB	0,830 aC	0,810 bC	0,380 aD
<b>C-FAH (g.kg<sup>-1</sup>)</b>						
1	0,065 aA	0,035 aAB	0,045 aA	0,025 bB	0,030 aB	0,004 aC
2	0,070 aA	0,045 aB	0,034 aB	0,040 aB	- -	- -
3	0,040 bA	0,025 aB	0,020 bB	0,013 cB	0,040 aA	0,001 aC
<b>C-FAF (g.kg<sup>-1</sup>)</b>						
1	0,060 aA	0,040 bA	0,040 aA	0,040 aA	0,021 aB	0,003 aC
2	0,065 aA	0,055 aA	0,040 aB	0,050 aA	- -	- -
3	0,035 bA	0,030 bA	0,025 bAB	0,020 bB	0,021 aB	0,001 aC
<b>C-HU (g.kg<sup>-1</sup>)</b>						
1	0,871 aA	0,566 aB	0,574 aB	0,558 aB	0,501 aB	0,110 aC
2	0,860 aA	0,666 aB	0,584 aB	0,568 aB	- -	- -
3	0,564 bA	0,426 bB	0,382 bBC	0,308 bBC	0,206 bC	0,150 aC
<b>C-FLL (g.kg<sup>-1</sup>)</b>						
1	1,240 aA	0,910 aB	0,820 aB	0,960 aB	0,720 aB	0,360 aC
2	1,160 abA	0,550 bAB	0,510 bB	0,350 cB	- -	- -
3	1,100 bA	0,650 bB	0,480 bB	0,660 bC	0,910 aC	0,260 aD

\* Letras maiúsculas comparam as colunas e minúsculas as linhas. Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A concentração de C-FAF e C-FAH foram bem inferiores que a de humina, em alguns casos a quantificação de carbono foi difícil, como no subsistema Capineira. Entre a C-FAF e C-FAH não houve diferença significativa para cada subsistema, mas entre coletas observa-se que a 3<sup>a</sup> coleta teve sempre magnitude de valor menor que as demais.

Para melhor entendimento do potencial de utilização do fracionamento químico da matéria orgânica vale ressaltar as características de cada um das frações. A fração Humina (FHU) apresenta baixa reatividade no solo, porém os maiores teores quando comparada ao C-FAF e C-FAH. Representando a maior parte do carbono humificado do solo (Benites et al., 2003).

A Fração Ácido Fúlvico (FAF) possui maior solubilidade, pois apresentam maior polaridade e menor tamanho molecular, sendo a fração mais instável do processo de humificação dos resíduos orgânicos componentes da MOS, apresentando grande quantidade de grupamentos funcionais oxigenados, solúveis tanto em meio ácido como básico (Benites et al., 2003).

A Fração Ácido Húmico (FAH) possui uma estrutura grande e complexa, quando comparadas aos AF, além de serem insolúveis em meio ácido. São responsáveis em aumentar a CTC de origem orgânica em camadas superficiais de solos com acúmulo de restos culturais. O seu alto conteúdo no solo está relacionado à alta fertilidade, com alto conteúdo de bases trocáveis e pode ser utilizado como indicador dos efeitos do manejo sobre a fração orgânica do solo (Canellas et al., 2003).

Ao analisar a relação C-FAH/C-FAF, observa-se diferenças entre os subsistemas, a relação foi superior a 1 nos subsistemas Capineira, Gliricídia, Couve e Tomate/quiabo, e menor que 1 no subsistema Policultivo e Telado. Sendo que a Policultivo foi a que apresentou a menor relação (0,625), para a 1ª coleta. Na 2ª coleta o subsistema Couve diminuiu sua porcentagem de C-FAH e sua relação foi menor que 1, lembrando que a segunda coleta aconteceu após o cultivo de couve folha.

Os baixos conteúdos de C-FAH encontrados no subsistema Policultivo podem estar relacionados ao frequente preparo do solo que associado à textura arenosa intensificam a mineralização da matéria orgânica, favorecendo a síntese de substâncias húmicas de baixo peso molecular (FAF) em detrimento dos C-FAH.

Aparentemente a via de formação da FAF está sendo facilitada, uma vez que nos subsistemas com manejo intensivo sua produção é elevada quando comparada com os AH. Observam-se pelos resultados que a FAF foi mais sensível às mudanças no manejo do sistema, assim como o potássio e o nitrogênio, sendo assim a fração química mais indicadora de alterações do uso do solo.

O fracionamento físico da matéria orgânica permite a separação da fração leve-livre (FLL), esta fração é composta por fragmentos de plantas frescos ou parcialmente decompostos, hifas de fungos, carcaças de organismos da fauna do solo, considerada um compartimento lábil, mais sensível ao manejo e constitui uma importante fonte de energia e nutriente para o sistema solo (Roscoe & Machado, 2002). Tem sido apresentada como indicador de manejo do solo, pois se apresenta sensível a pequenas alterações no solo (Conceição, 2014; Pinheiro, 2008), podem fornecer informações importantes sobre a sustentabilidade ambiental e sobre a qualidade do solo em agroecossistemas, permitindo correções nas estratégias de uso e de manejo adotadas (Santos et al., 2013). Ao contrário das frações separadas pelo método químico que apresentam o conteúdo mais estável da MO.

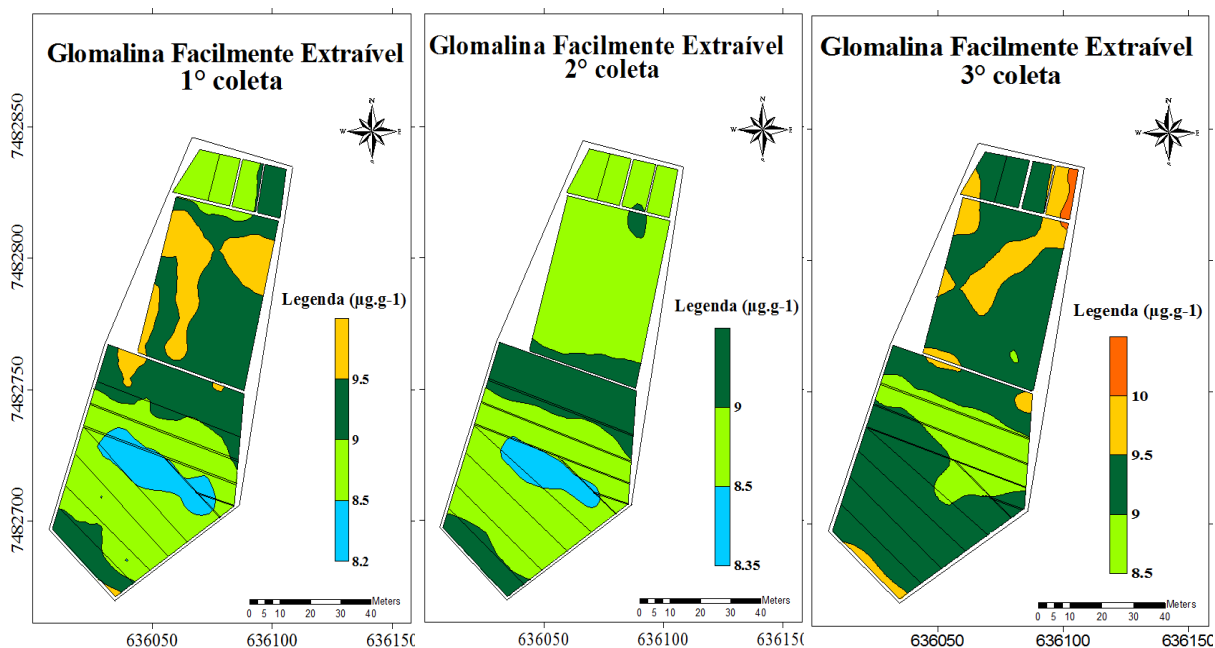
Os resultados da FLL mostram o efeito do manejo intensivo realizado durante o ciclo de hortaliças, uma vez que na 2ª coleta foi observado queda dos teores em relação a 1ª coleta (Tomate/quiabo, Telado, Couve, Policultivo) e manutenção dos baixos teores na 3ª coleta. Apenas o subsistema Policultivo retomou os teores na 3ª coleta, após o ciclo de adubos verdes. Para a Capineira e Gliricídia não houve mudança ao longo do tempo, porém os teores foram sempre menores que dos demais subsistemas.

A mais importante observação a partir dos fracionamentos da matéria orgânica é que a fração mais estável (humina) não diminuiu ao longo do tempo, nem tiveram significativo aumento. Assim as alterações de COT decorreram das variações das frações mais lábeis (FAF, FAH e FLL). Desta forma não podemos atribuir a queda nos teores de COT do solo a uma queda dos estoques de matéria orgânica do solo. Também não podemos considerar o manejo realizado ou as formas de adubação como problemas para a manutenção da qualidade do sistema, ao contrário, todas as práticas realizadas no manejo do sistema buscam o menor impacto e a manutenção da pouca matéria orgânica existente. A dificuldade de aumentar a matéria orgânica reside, principalmente, no atributo que não se altera rapidamente, a baixa concentração de argila do solo e por consequência baixa capacidade de reter matéria orgânica.

#### **4.3.5. Proteína do solo relacionada ao Bradford (Glomalina)**

Os valores de GFE variaram de 8,10 a 10,28  $\mu\text{g.g}^{-1}$  na 1ª e 2ª coleta e de 8,30 a 10,62 na 3ª coleta. Os teores de glomalina facilmente extraível (Figura 14) foram separados em 4 classes de cores, com 0,5  $\mu\text{g.g}^{-1}$  entre elas. A classe de 9,5 a 10  $\mu\text{g.g}^{-1}$  está presente apenas na 3ª coleta e na 2ª coleta a classe de 9,0 a 9,5  $\mu\text{g.g}^{-1}$  não está presente.





**Figura 15.** Mapas de variabilidade espacial de glomalina facilmente extraível na 1ª, 2ª (ano de 2013) e 3ª (2014) no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense.

Observamos que a 2ª coleta foi inferior às demais no subsistema Tomate/quiabo. Houve um balanço positivo na 3ª coleta nos subsistemas Tomate/quiabo, Telado e Couve e negativo nos subsistemas Policultivo e Capineira, já o subsistema apresentou altos teores de GFE e estáveis ao longo do tempo. Isto pode ser explicado pelo manejo presente nestes subsistemas, na 1ª e 3ª coletas os adubos-verdes podem multiplicar a comunidade micorrizica (Guerra, 1999). Assim a comunidade de FMA responderia ao cultivo de adubos verdes produzindo mais glomalina. Há um efeito indireto no sistema, uma vez que as plantas crescem, mais raízes estão no sistema para serem colonizadas resultando em maior crescimento do fungo e em consequência aumento da produção de gomalina.

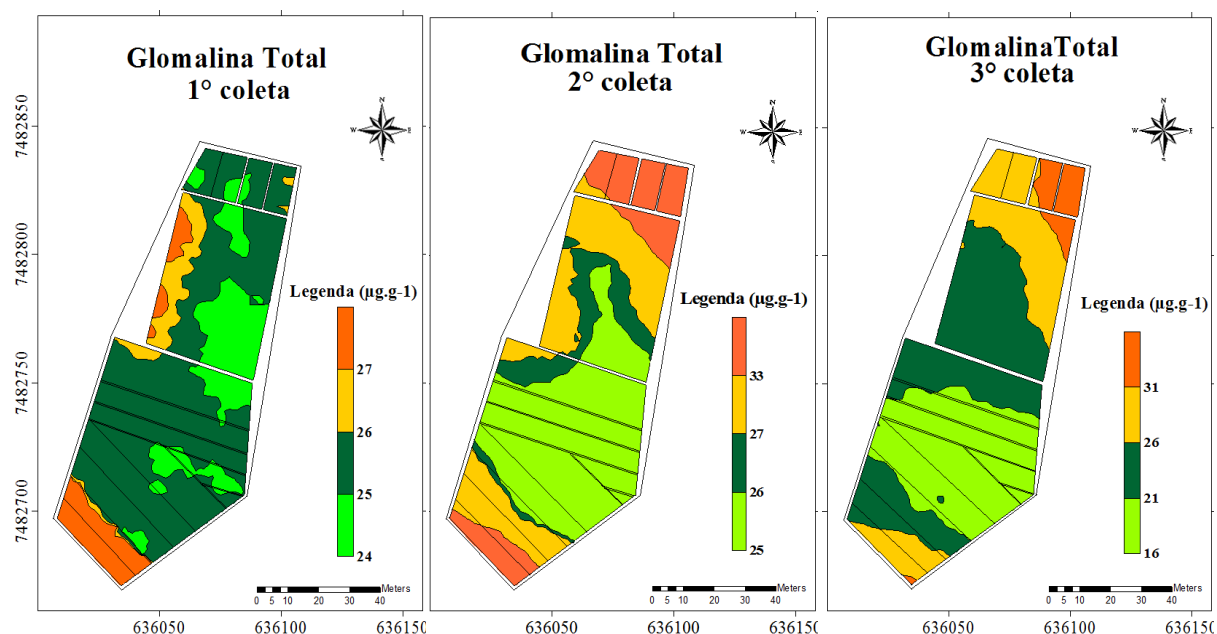
No caso do Policultivo, Tomate/quiabo e Couve a diminuição dos teores de GFE na 2ª coleta pode ser explicada pelo manejo intensivo do solo e o cultivo de espécies não simbiotes durante o período de produção de hortaliças (brássicas e tuberosas). Já o balanço final positivo dos subsistemas Tomate/quiabo, Telado e Couve indica a eficiência da rotação de cultivos existente na área, com o cultivo de adubos verdes no verão.

O subsistema Gliricídia apresentou concentração elevada e estável no período avaliado devido, possivelmente, a conhecida associação micorrizica existente entre esta espécie que beneficia o crescimento de fungos e consequentemente da produção de glomalina.

A relação entre a GFE e a matéria orgânica do solo é interessante, pois quando comparado ao carbono orgânico total a correlação foi baixa, porém ocorreu uma alta relação com a fração ácidos fúlvicos. Purin (2005) e Rillig & Purin (2007) relatam que a fração GFE representa a parte mais lábil e que foi produzida mais recentemente e também mais susceptível à atividade de decomposição por estar concentrada na superfície dos agregados.

A Glomalina Total (GT) teve amplitude de 23,4 a 55,46  $\mu\text{g.g}^{-1}$  na 1ª coleta, de 23,87 a 55,46  $\mu\text{g.g}^{-1}$  na 2ª coleta e de 14,77 a 56,10  $\mu\text{g.g}^{-1}$  na 3ª coleta. Ao contrário da maior parte dos atributos avaliados, a Glomalina Total apresentou valores elevados na 2ª coleta.

A 1ª coleta se comportou de forma uniforme entre os subsistemas, a 3ª coleta foi superior à 1ª coleta nas áreas de plantio intensivo de hortaliças (Policultivo e Tomate/quiabo). A 2ª coleta foi superior às demais, com destaque para o Tomate/quiabo e Telado, esta tendência também foi observada pelo Carbono orgânico total, Humina, potássio no subsistema Tomate/quiabo e nitrogênio no subsistema Policultivo.



**Figura 16.** Mapa de variabilidade espacial de glomalina total (GT) da 1ª, 2ª (ano de 2013) e 3ª (2014) no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense.

A GT representa a quantidade total de proteína no solo, tanto na superfície quanto no interior dos agregados depositadas há um maior tempo no solo (Purin, 2005). Pode representar a menor porção da matéria orgânica extremamente persistente no solo, apresentando alta correlação com os teores de Carbono Orgânico do Solo (Fokon et al., 2012; Bedini et al., 2009; Franzluebbers et al., 2000).

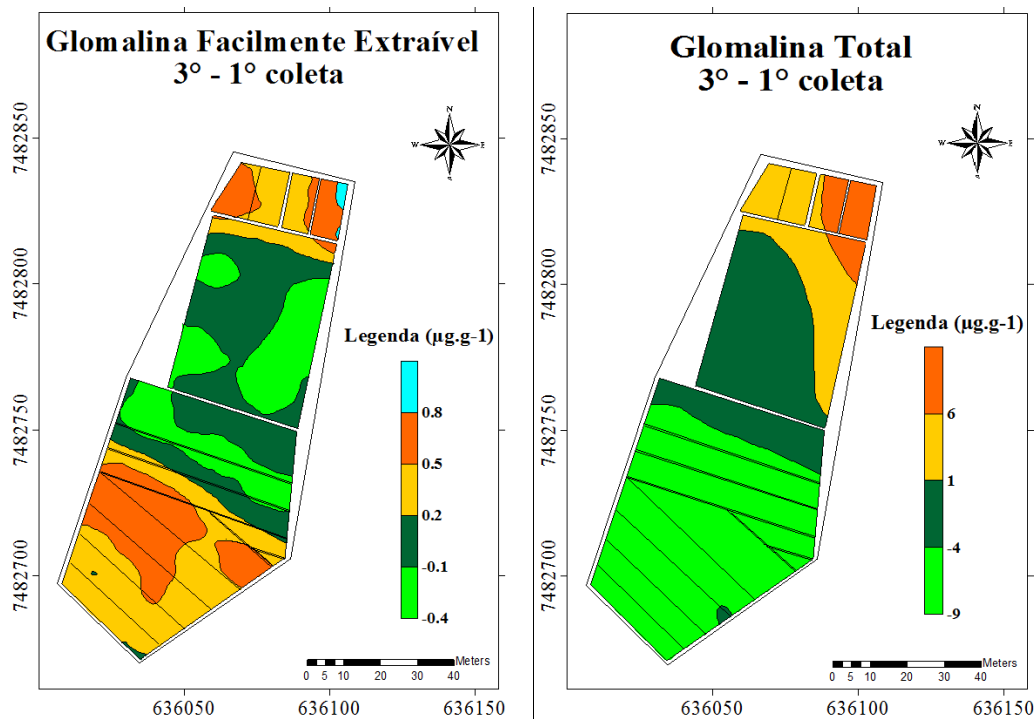
Pela diferença dos mapas de GFE entre a 3ª e 1ª coleta (Figura 16) percebe-se que os teores diminuíram na área da Policultivo, da Gliricídia e no início da Capineira. Já nas áreas de Tomate/quiabo, Couve e Telados houve um aumento dos teores.

Pela diferença dos mapas de GT entre a 3ª e 1ª coleta nota-se que os teores diminuíram nas áreas da Capineira, Gliricídia e em parte da Policultivo e aumentaram nas demais áreas, principalmente no Tomate/quiabo, Couve e Telados.

Existe uma relação direta entre a argila, a GT e a COT, ambos apresentaram níveis elevados no Tomate/quiabo e no Telado, assim como baixos níveis na Capineira e na Policultivo. Diversos estudos demonstram que solos arenosos apresentam uma menor capacidade de produção e retenção de matéria orgânica, principalmente em ambientes tropicais. Quando associamos estas condições aos manejos mais intensivos da Policultivo e na Capineira, justifica-se a correlação entre os atributos.

Lovelock et al. (2004) observam que concentrações de GFE e GT correlacionaram-se positivamente com valores de carbono, alumínio e ferro, e negativamente com valores pH, fósforo, cálcio e manganês no solo. O maior acúmulo de glomalina em solos menos férteis pode estar relacionado à menor taxa de decomposição e maior complexação de compostos orgânicos observada nestes ambientes quando comparados à solos férteis.

Os sistemas de revolvimento mínimo do solo diminuem a velocidade de degradação da matéria orgânica, aumentam os conteúdos de carbono e favorecem a comunidade de fungos do solo. Desta forma, a GT tende a ser mais elevada em solos com menor revolvimento, onde há maiores conteúdos de matéria orgânica e agregados do solo (Wright & Upadhyaya, 1996).



**Figura 17.** Variabilidade espaço temporal de Glomalina Facilmente Extraível e Glomalina Total entre a 3ª e 1ª coleta no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense.

Wright & Anderson (2000) avaliaram alguns sistemas agrícolas sob rotação de culturas nos Estados Unidos, procurando indícios de quais seriam as melhores formas de manejo para promover a produção de glomalina. Ao utilizar-se rotação de culturas com trigo, milho e painço e não revolver-se o solo por 8 anos, a quantidade de glomalina total foi de 2,9  $\text{mg.g}^{-1}$ , por outro lado, com o monocultivo de tritcale e revolvimento do solo por um período de 6 anos este valor decaiu para 1,5  $\text{mg.g}^{-1}$ .

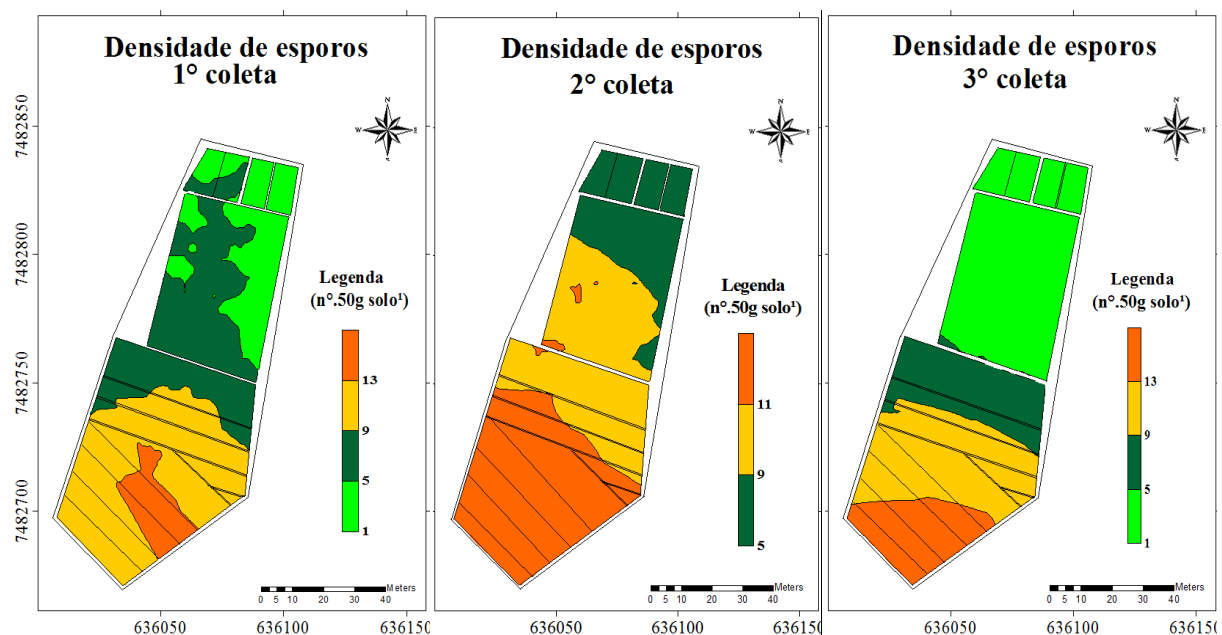
#### 4.3.6. Densidade e diversidade de Glomerosporos

A densidade de glomerosporos variou de 4 a 155 propágulos. $50\text{cm}^{-3}$  de solo. Loss et al. (2003) estudando pastagens e sistemas agroflorestais em argissolos do município de Seropédica-RJ, encontraram variações de 220 a 960 propágulos.

Em relação às épocas de coleta, a 2ª coleta apresentou valores mais elevados que as demais. A Figura 17 apresenta mapas com a distribuição espacial da densidade de esporos nas 3 coletas. Claramente nota-se a maior concentração de esporos nos subsistemas Gliricídia e Capineira.

A Gliricídia apresenta conhecida associação micorrízica (Espindola et al., 1998) o que explica a uniformidade de esporos encontrados ao longo das coletas. Também é conhecida a associação micorrízica com as gramíneas (Miranda et al., 2010), onde o sistema fasciculado das raízes de gramíneas (plantas com metabolismos C4) fixam carbono, fornecem abundância

de fotoassimilados, favorecendo a multiplicação de esporos de FMA, explicando o elevado número de esporos no subsistema Capineira. Angelini et al. (2012) relatam aumento tanto na colonização radicular quanto no número de esporos de FMAs em sistemas em que o solo seja menos perturbado (Capineira e Gliricidia), assim como outros trabalhos (Mcgonigle & Miller, 1996; Schneider et al., 2011). Além disso, não pode-se deixar de relacionar os baixos teores de argila e matéria orgânica destes subsistemas, que podem gerar possíveis situações de stress (hídrico, térmico, etc.) que também incentivam a esporulação dos fungos micorrízicos.

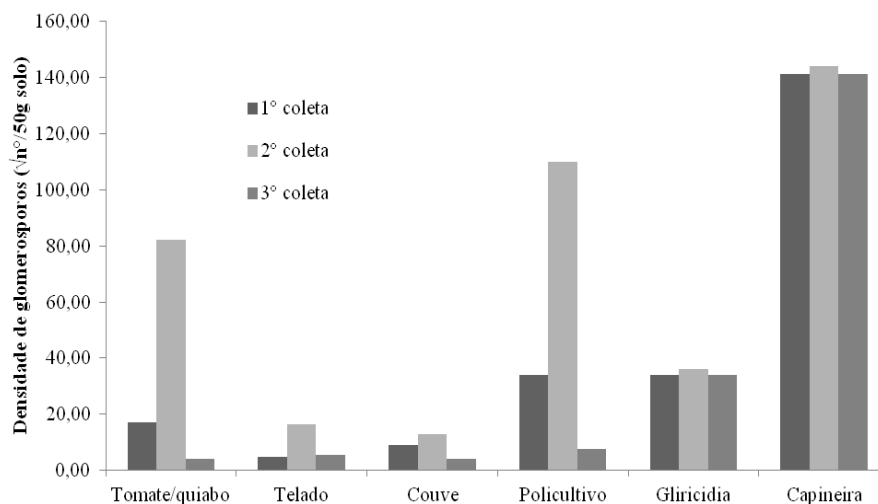


**Figura 18.** Mapa de variabilidade espacial de densidade de glomerosporos da 1ª, 2ª (ano de 2013) e 3ª (2014), no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense.

Para melhor visualizar a resposta do fungo as situações de stress, a Figura 18 apresenta a distribuição da densidade de esporos nos diferentes subsistemas ao longo das coletas. Esta clara a diferença entre as 2ª coleta nos subsistemas que apresentaram manejo intensivo do solo durante o período de cultivo de hortaliças (Tomate/quiabo e Policultivo). Diversas explicações podem ser fornecidas em relação a este comportamento. A primeira delas é o efeito sazonal da época natural de esporulação da população de FMAs presentes, porém os subsistemas os demais subsistemas não apresentaram esta distribuição.

A segunda explicação seria de que esporos são considerados estruturas de resistência do fungo, diversos trabalhos relatam o aumento da produção de esporos como forma de proteção do fungo a adversidades ambientais. Nestes dois subsistemas ocorrem ciclos curtos de cultivo que revolvem o solo e estimula a população fúngica a produzir propágulos que garantirão sua permanência no sistema. Ferreira et al.(2012), Miranda et al. (2008) e Johnson & Pflieger (1992) relatam o estímulo da produção de esporos quando o fungo é submetido a algum estresse, como mecanismo de perpetuação das espécies.

Porém não podemos generalizar esta informação, que varia com a planta hospedeira, as espécies de fungos micorrízicos predominantes e a especificidade (Silveira & Freitas, 2007). No caso do subsistema Couve, o cultivo seguido de plantas da família das brássicas, que não realizem associação micorrízica, reduziu o número de propágulos e a diversidade de espécies (Tabela 8).



**Figura 19.** Densidade de Glomerosporos nos diferentes subsistemas e na 1ª, 2ª (2013) e 3ª (2014) coleta no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense.

Já no caso do Telado, o reduzido número de esporos e diversidade de espécies pode ser associado a espécies não simbiotes, como a salsa, beterraba e rúcula, mas também pode estar associada a baixa luminosidade. Em ambientes sombreados ocorre um estímulo na planta para o envio de fotoassimilados para a parte aérea em relação ao sistema radicular, uma vez que precisam buscar luz. Como os fotoassimilados são a base da simbiose entre planta-FMA, ocorre o menor incentivo, por parte da planta, para que a simbiose ocorra. Além disso, a manutenção da umidade no solo preserva os esporos, não ocorrendo estímulo para a germinação e incentivo a esporulação.

Importante observar que no momento da determinação da diversidade de esporos (com uso do microscópio) notou-se que uma grande parte dos esporos contados e separados para a determinação estavam “velhos” ou sem capacidade de germinação. O que inviabiliza a classificação dos esporos em nível de gênero e espécie. Foi estimado que 40% dos esporos estavam inviáveis no subsistema Capineira e 70% para os demais subsistemas. Devido a isto, e também pelo maior grid (25x25m) utilizado para determinar a diversidade de esporos, não houve dependência espacial, não sendo utilizado a geoestatística para a criação dos mapas de distribuição das espécies.

Foi verificado um total de 24 espécies de FMA distribuídas em 9 gêneros (Tabela 8), o que representa 9,7% de todas as espécies descritas de FMA atualmente (Schussler & Walker, 2012). Muitas espécies foram apenas identificadas em nível de gênero, pois a identificação de glomerosporos de campo é problemática devido estarem parasitados ou degradados (Morton 1993).

Este valor pode ser considerado baixo quando comparado aos resultados de Miranda et al. (2010) em áreas de vegetação natural no município de Seropédica-RJ (39 espécies). Reis et al. (1999) encontraram em média 6 espécies por cultivar de cana-de-açúcar, em área experimental em Seropédica-RJ. A ocorrência de menor diversidade de esporos em áreas cultivadas em relação a áreas sob vegetação natural é relatada em diversos estudos (Ferreira et al., 2012; Souza et al., 1999; Miranda et al.; 1989). Indicando que as práticas agrícolas com baixo número de espécies vegetais selecionam populações de FMA, reduzindo sua riqueza.

Das espécies presentes no levantamento 38% ocorrem em agroecossistemas. Os gêneros mais representativos foram *Glomus*, com 9 espécies, e *Acaulospora* com 5 espécies.

As espécies com formação de esporos tipo gigasporóide (*Gigaspora*, *Fuscutata*, *Racocetra*, *Cetranspora*, *Dentiscutata*, *Scutellospora* e *Intraornatospora*) corresponderam a 41,1% (10) do total de espécies, seguidas por 37,5% (9) com esporos tipo glomeróide e 20,8% (5) com esporos tipo acaulosporóide.

Espécies das famílias Acaulosporaceae e Glomeraceae são as com maior número de organismos identificados dentro do filo Glomeromycota (Silva et al., 2014). Stürmer & Siqueira (2008) também afirmam que o gênero *Glomus* predomina nos ecossistemas do Brasil, com exceção das dunas marítimas. A dominância das famílias Acaulosporaceae e Glomeraceae em áreas com intervenção antrópica foi verificada por Cuenca et al. (1998) e Boddington & Dodd (2000). Estudos mostram maior capacidade de adaptação dessas famílias a solos submetidos a diferentes manejos e usos (Ferreira, 2012; Bennedeti et al., 2005; Silva Júnior & Cardoso, 2006).

**Tabela 8.** Ocorrência e riqueza de espécies de FMA nos 6 subsistemas no Módulo de cultivo, localizado em Seropédica, na Baixada Fluminense.

Espécies FMA	Tomate/quiabo	Telado	Couve	Policultivo	Gliricídia	Capineira
<i>Acaulospora cavernata</i>	X				X	X
<i>Acaulospora delicata</i>						X
<i>Acaulospora mellea</i>			X	X	X	X
<i>Acaulospora scrobiculata</i>				X	X	X
<i>Acaulospora tuberculata</i>				X		X
<i>Claroideoglomus etunicatum</i>	X					X
<i>Funneliformis geosporum</i>	X			X		X
<i>Fuscutata ruba</i>						X
<i>Gigaspora albida</i>				X		
<i>Gigaspora margarita</i>						X
<i>Rhizophagus claru</i>				X	X	
<i>Glomus glomerulatum</i>	X	X				
<i>Rhizophagus intraradices</i>						X
<i>Glomus macrocarpum</i>		X	X	X	X	X
<i>Glomus sp1</i>	X			X	X	X
<i>Glomus sp2</i>	X			X		
<i>Glomus sp3</i>				X		
<i>Glomus sp4</i>				X	X	X
<i>Glomus sp5</i>			X			
<i>Kuklospora colombiana</i>						X
<i>Pacispora sp</i>		X				
<i>Racocetra fulgida</i>	X					
<i>Scutellospora calospora</i>				X		X
<i>Scutellospora sp1</i>						X
Riqueza	7	3	3	12	7	16

Em relação às espécies presentes, *Glomus macrocarpum* foi a que apresentou maior ocorrência entre os subsistemas estando presente em 5 dos 6 subsistemas, resultado comum em solos brasileiros. *Acaulospora mellea* também se destacou por ocorrer em 4 subsistemas. Ainda 11 espécies (45,8%) tiveram ocorrência em apenas 1 subsistemas.

A maior frequência de espécies pertencentes ao gênero *Glomus* em solos agrícolas pode ser explicada pela estratégia de vida dessas espécies. Espécies com estratégia tipo r produzem muitos esporos e de tamanho menor ao contrário das espécies com estratégia do tipo k (Moreira & Siqueira, 2002). As espécies de FMA pertencentes a esse grupo apresentam comportamento aquisitivo, ou seja, são *r* estrategistas (Pianka, 1970) e espécies da família

Gigasporaceae apresentam comportamento oposto, com características de espécies conservacionistas (De Souza et al., 2005), ou seja, *k* estrategistas. O revolvimento frequente dos solos agrícolas são práticas agrícolas que favorecem a seleção de espécies com estratégia *r*, como o das espécies do grupo *Glomus*, segundo Souza (2012).

Características de solo são comumente utilizadas para justificar a presença ou ausência de determinados táxons de FMA em ecossistemas. Fatores ambientais como: características físicas e químicas do solo, características morfofisiológicas das plantas, compatibilidade entre o hospedeiro e a espécie de FMA, dispersão dos fungos, entre outros, são responsáveis pela dominância de gêneros de FMA em alguns ambientes (Zangaro & Moreira, 2010). A Correlação de Person foi significativa entre o número de esporos e o pH, P e Ca.

O subsistema Capineira proporcionou a maior riqueza com 16 espécies, seguido pela Policultivo que apresentou 12 espécies. Os subsistemas com menor riqueza foram o Telado e Couve com apenas 3 espécies. Estas informações revelam algumas tendências interessantes.

Miranda (2010) observa que as gramíneas são plantas eficientes na multiplicação de FMAs, caso o fungo seja eficiente e a fertilidade do solo baixa, tanto as gramíneas como as leguminosas podem se beneficiar da simbiose melhorando, portanto, sua nutrição e produção, explicando a elevada adaptabilidade destas plantas aos solos ácidos e deficientes em P (Howeler et al., 1987).

A rotação de culturas favorece a multiplicação e diversidade de FMA no solo e estimula o estabelecimento da associação micorrízica arbuscular e os efeitos desta na planta (Miranda e Miranda, 2004). A utilização de culturas anuais, adubos verdes e forrageiras, em rotação, aumenta a população e diversidade dos FMA nativos e beneficia os cultivos subsequentes (Souza et al., 1999; Espindola et al., 1998). O que pode ter contribuído com a alta diversidade encontrada no subsistema Policultivo.

Deve-se lembrar do grande número de esporos velhos, indicando que não há um estímulo a produção de novos esporos e para a esporulação. Apesar do intenso manejo de solo há certa estabilidade no sistema de produção, principalmente nas áreas com constante aporte de biomassa, adubação e diversidade de cultivos (área destinada ao cultivo de hortaliças). Esta estabilidade do sistema pode ser atribuída ao histórico de manejo orgânico da área (22 anos de pesquisa) e desde a criação do Módulo de Cultivo Intensivo de Hortaliças Orgânicas (5 anos atrás) que apesar de receber manejo intensivo, é alvo de constante preocupação para que o sistema de produção minimize seus impactos negativos sobre o sistema solo.

## 5. CONCLUSÕES

O Objetivo proposto foi avaliar espacial e temporalmente a dinâmica da população dos fungos micorrízicos arbusculares e o conteúdo de matéria orgânica e nutrientes do solo de um Módulo de cultivo intensivo de hortaliças orgânicas nas condições da Baixada Fluminense, concluímos que este objetivo foi alcançado. A geoestatística se mostrou eficiente na análise espacial e temporal dos agroecossistemas, facilitando futuras tomadas de decisões e mostrando a distribuição dos atributos de forma dinâmica. Sendo indicada para estudos de agroecossistemas complexos.

Os resultados refletem o manejo intensivo do ciclo de hortaliças, os teores de Ca, Mg e do pH aumentaram ao longo do ano, ao contrário do N, P e K que diminuíram, com destaque para o potássio que apresentou o balanço negativo maior.

O carbono orgânico do solo apresentou balanço final negativo. Entre as substâncias húmicas, a humina foi superior as demais frações e os ácidos fúlvicos foram os que responderam mais ao manejo intensivo, sendo superior aos ácidos húmicos nestas áreas. A fração leve livre também respondeu ao manejo intensivo do solo. A diminuição do COT se deve a variação das frações lábeis da matéria orgânica (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e fração leve livre), estando a fração estável constante.

Apesar de todo o esforço realizado no Módulo de Cultivo Intensivo de Hortaliças Orgânicas para que a produtividade seja mantida e a qualidade do solo elevada, existe uma particularidade que intensifica os efeitos negativos das práticas realizadas. Esta característica é a textura e a classe dos solos, que limitam a estabilização da matéria orgânica no solo. Desta forma a manutenção dos conteúdos de matéria orgânica deve ser vista de forma positiva, uma vez que o manejo realizado é intensivo e não ocorre a diminuição da matéria orgânica do solo.

A Glomalina total apresentou boa correlação com o carbono do solo, já a glomalina leve livre respondeu ao manejo intensivo diminuindo sua concentração após o ciclo de hortaliças e aumentando após o cultivo de adubos verdes.

Em relação à densidade de esporos, esta respondeu ao manejo intensivo, com altas densidades após o ciclo de hortaliças nas áreas de policultivo e tomate/quiabo. As maiores densidades foram notadas nas áreas de produção de biomassa, já as menores nas áreas cultivadas com brássicas e com sombreamento. A diversidade de esporos foi maior nas áreas de produção de biomassa e de policultivo. Indicando certa estabilidade do sistema de produção decorrente da diversidade vegetal e do manejo orgânico realizado no módulo de cultivo.

Concluí-se que o trabalho apresenta o efeito de diversas culturas e manejos sobre a matéria orgânica e comunidade de fungos micorrízicos, contribuindo para a discussão do impacto que sistemas de produção agroecológico causam sobre a qualidade do solo.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisar um sistema complexo não é uma tarefa fácil. Em primeiro momento deve-se separar todas as variáveis analisadas e interpretá-las separadamente, o que requer conhecimentos específicos e aprofundados. O grande desafio é reordenar as informações em conjunto e assim visualizar o funcionamento do complexo sistema solo.

No solo nenhum atributo ou característica está isolado, todos trabalham em conjunto e indicam o possível impacto das práticas antrópicas sobre o sistema. O primeiro ponto a ser levantado é o tempo de avaliação dos atributos, trabalhando com amostras de apenas 1 ano de cultivo e de apenas 1 ciclo de produção pode-se observar uma tendência, que pode ser confirmada ou não a longo prazo. Este problema é mais intensificado quando trabalha-se com atributos biológicos, por serem mais sensíveis podem estar indicando o efeito de mudanças climáticas e sazonais e não as mudanças causadas pelo manejo em si. Apenas analisando o sistema de produção por vários anos poderia ser confirmada estas tendências, o que não é possível no período de um curso de pós-graduação.

O segundo ponto a ser discutido é o esforço amostral necessário neste trabalho. Quando se utilizou um grid quadrado de 10x10 metros se observa a dependência dos pontos espacialmente, porém ao aumentar o espaçamento, no caso das análises mais trabalhosas e custosas, a dependência espacial é perdida e a geoestatística não pode ser empregada, restando outros métodos estatísticos para análise dos resultados.

O grande desafio da sustentabilidade dos solos é aumentar a produção de matéria orgânica, manter bons índices de produtividade, em solos com textura arenosa e em condições de clima tropical. Apesar dos esforços realizados no Módulo de cultivo, onde qualquer prática de manejo realizada afeta o solo, apenas matéria orgânica lábil é formada e perdida, porém os estoques de matéria orgânica estão sendo mantidos.

Do ponto de vista metodológico e científico, trabalhar em solos arenosos e com sérias limitações de cultivo indica o real efeito do manejo sobre os atributos do solo. Se este mesmo Módulo de cultivo tivesse sido implantado em solos argilosos, provavelmente as boas características do solo encobririam os efeitos do manejo e nenhuma diferença entre os manejos seria notada.

Desta forma é válido os comentários frequentemente feitos sobre o Módulo de cultivo “quem produz hortaliças de forma intensiva nesta areia e nesta dificuldade climática, pode produzir hortaliças em qualquer lugar”.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M.; ASSIS, R. L. de; FEIDEN, A.; CARVALHO, S. R. de; RIBEIRO, R. de L. D.; ABOUD, A. C. de S.; FERNANDES, M. do C. de A. Sistema integrado de produção agroecológica: uma experiência de pesquisa no Brasil. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE AGROECOLOGIA, 1., 2002, Gijón. La agricultura y ganaderia ecológicas en un marco de diversificación y desarrollo solidario. **Anais...** Gijón, p. 197-204. 2002.
- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. Applying agroecological concepts to development of ecological based pest management systems. Em: Proc. Workshop Professional Societies and Ecological based pest management systems. **National Research Council**, Washington DC., p. 14-19. 2000.
- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. **Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas. Perspectivas agroecológicas.** Junta de Andalucía. Icaria Editorial. Barcelona. 247p. 2007.
- ANGELINI, G. A. R. LOSS, A.; PEREIRA, A.C.C.; TORRES, J.L.F.; SAGGIN JÚNIOR, O. J. Colonização micorrízica, densidade de esporos e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em solo de Cerrado sob plantio direto e convencional **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 115-130, jan./mar. 2012
- BEDINI, S.; TURRINI, A.; RIGO, C.; ARGESE, E.; GIOVANNETTI, M. Molecular characterization and glomalin production of arbuscular mycorrhizal fungi colonizing a heavy metal polluted ash disposal island, downtown Venice. **Soil Biology Biochemistry**, 42: 758-765. 2010.
- BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O. A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo.** (Comunicado Técnico, 16). Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 7p.
- BENNEDETI, T.; ANTONIOLLI, Z.I.; GIRACCA, E.M.N.; STEFFEN, R.B. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares na cultura do milho após uso de espécies de plantas de cobertura de solo. **Revista Ciência Agroveterinária**, 4:44-51, 2005.
- BHATTI, A.U. et al. Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatistics and thematic mapper images. **Remote Sensing Environment**, New York, v.37, n.3, p.181-191, 1991.
- BODDINGTON, C.L. & DODD, J.C. The effect of agricultural practices on the development of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi. I. Field studies in Indonésia ultisol. **Plant Soil**, 218:137-144, 2000.
- BOOTH, M. S.; STARK, J. M.; RASTETTER, E. Controls on nitrogen cycling in terrestrial ecosystems: A synthetic analysis of literature data. **Ecological Monographs**, v. 75, n. 2, p. 139-157, 2005.
- BRADFORD, M.M. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. **Analytical Biochemistry** v. 72, p. 248-254. 1976.
- CAMBARDELLA, C. A. Experimental verification of simulated soil organic matter pools. In: LAL, R., KIMBLE, J. M., FOLLETT, R. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Soil processes and the carbon cycle.** Boca Raton: CRC Press, 1997.

p. 519-526.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v.56. p.777-783, 1992.

CANELLAS, L. P.; A. C. X.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 935-944, 2003.

CANELLAS, L.P.; ESPINDOLA, J.G.A.; REZENDE, C. E.; CAMARGO, P.B.; ZANDONADI, D. B.; RUMJANEK, V. M.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M.G.; BRAZ-FILHO, R. Organic matter quality in a soil cultivated with perennial herbaceous legumes. **Scientia Agricola**, v.61, n.1, p.53-61, Jan./Fev. 2004

CAPRONI, A. L.; FRANCO, A. A.; BERBARA, R. L. L.; DE OLIVEIRA GRANHA, J. R. D.; DA SILVA RIBEIRO, E. M.; JÚNIOR, O. J. S. Capacidade infectiva de fungos micorrízicos arbusculares em áreas reflorestadas após mineração de bauxita no Pará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 937-945, ago. 2003.

CONCEIÇÃO, P.C.; BOENI, M.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.541-549, 2008.

COUTINHO, R. P., URQUIAGA, S., BODDEY, R. M., ALVES, B. J. R., TORRES, A. Q. A., & JANTALIA, C. P. Estoque de carbono e nitrogênio e emissão de N<sub>2</sub>O em diferentes usos do solo na Mata Atlântica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 45, 195-203. 2010.

CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Science**, New York, v.20, p.2-76,1992.

CUENCA, G.; ANDRADE, Z. & ESCALANTE, G. Diversity of glomalean spores from natural, disturbed and revegetated communities growing on nutrient-poor tropical soils. **Soil Biology Biochemistry**, 30:711-719, 1998.

DAI, J., HU, J., ZHU, A., BAI, J., WANG, J., & LIN, X. No tillage enhances arbuscular mycorrhizal fungal population, glomalin-related soil protein content, and organic carbon accumulation in soil macroaggregates. **Journal of Soils and Sediments** (5), 1055-1062. 2015.

DELHOMME, J.P. **Kriging in hydrosciences**. Centre D'Informatique Geologique, Fontainebleau, France, 1976.

DE SOUZA, F.A.; DECLERCK, S.; SMIT, E.; KOWALCHUK, G. A. Morphological, ontogenetic and molecular characterization of *Scutellospora reticulata* (Glomeromycota). **Mycology Research**, 109 (6): 697–706. 2005

DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America Special Publication Number 35, 1994. p.1-20.

EL SEBAI, T.; LAGACHERIE, B.; SOULAS, G.; MARTINLAURENT, F. Spatial variability of isoproturon mineralizing activity within an agricultural field: Geostatistical analysis of

simple physicochemical and microbiological soil parameters. **Environmental Pollution**, v.145, p.680-690, 2007.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. ,Rio de Janeiro - RJ , (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1). 1997. 212 p.

ESPINDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M.; SILVA, E. M. R. da; SOUZA, F. A. de. Influência da adubação verde na colonização micorrízica e na produção da batata-doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 3, p. 339-347, 1998.

ETTEMA, C. H. ; WARDLE, D. A. Spatial soil ecology. **Trends in Ecology & Evolution** Vol.17 No.4 April 2002.

FELLER, C.; BEARE, N. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, p. 69-116, 1997.

FERNANDES, M.F.; BARRETO, A. C.; MENDE, I.S; DICK, R. P. Short-term response of physical and chemical aspects of soil quality of a kaolinitic Kandiuudalfs to agricultural practices and its association with microbiological variables. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 142, p. 419– 427. 2011

FERNANDES, S. A. P. **Avaliação de parâmetros químicos e biológicos em diferentes sistemas de manejo do solo**. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Universidade de São Paulo/CENA, Piracicaba.1995.

FERREIRA, D. A.; CARNEIRO, M.A.C.; SAGGIN JUNIOR, O.J. Fungos micorrízicos arbusculares em um latossolo vermelho sob manejos e usos no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** Viçosa , v. 36, n. 1, Feb. 2012 .

FIETZ, C.R.; FOLEGATTI, M.V.; VIEIRA, S.R.; FRIZZONE,J.A. Efeito da variabilidade do armazenamento de água no solo na qualidade da irrigação por aspersão. . **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.3, p.150-153, 1999.

FONTANA, A. BRITO, R. J.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A. Índices de agregação e a relação com as substâncias húmicas em Latossolos e Argissolos de tabuleiros costeiros, Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. 5(3): 291-297, 2010

FOKOM, R.; ADAMOU, S.; TEUGWA, M.C.; NANA, W.L.; NGONKEU, M.E.L; TCHAMENI, N.S.; NWAGA,D.; NDZOMO, G.T.; ZOLLO, P.H.A. Glomalin related soil protein, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid forest zone of south Cameroon. **Soil Tillage Research**, 120: 69-75, 2012.

FRANCHINI, J. C.; HOFFMAN-CAMPO, C. B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Organic composition of green manure during growth and its effects on cation mobilization in an acid Oxisol. **Community Soil Science Plant.**, 34: 2045-2058, 2003.

FRANZLUEBBERS, A.J., WRIGHT, S.F., STUEDEMANN, J.A. Soil aggregation and glomalin under pastures in the Southern Piedmont USA. **Soil Science Society of America Journal**, 64: 1018-1026, 2000.

FREIRE, L. R.; BALIEIRO, F. de C.; ZONTA, E.; ANJOS, L. H. C. dos; PEREIRA, M. G.; LIMA, E.; GUERRA, J. G. M.; FERREIRA, M. B. C.; LEAL, M. A. de A.; CAMPOS, D. V. B. de; POLIDORO, J. C. (Ed.). **Manual de adubação e Calagem para o estado do Rio de Janeiro**. Brasília, DF: Embrapa; Seropédica, RJ: Universidade Rural, 2013.

GARCÍA, A.C.. **Frações sólidas humificadas de vermicomposto: seus efeitos em plantas e capacidade para a retenção de metais pesados**. 2013. 117f. tese (doutorado em

agronomia, ciência do solo). instituto de agronomia, departamento de solos, universidade federal rural do rio de janeiro, seropédica, rj, 2013.

GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, 46: 235-244. 1963.

GIANINAZZI, S.; GOLLETE, A; BINET, M.N.; TUNEN,D.V.; REDECKER,D.; WIPF, D. agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. **Mycorrhiza**, v. 20, p. 705-715. 2010.

GILLER, K.; ROWE, E. C.; RIDDER, N.; VAN KEULEN, H. Use Dynamics and Interactions in the Tropics: Scaling Up in Space and Time. **Agricultural Systems**, n.88, pp. 8-27, 2006.

GLIESSMAN, S.R. **Agroecology: Ecological Processes in Agriculture**. Ann. Arbor Press, Chelsea, Michigan. 1999.

GLIESSMAN, S.R., 2007. **Agroecology: the ecology of sustainable food systems**. 2nd Edition CRC Press, Boca Raton. 2007.

GOEDERT, W. J.; OLIVEIRA, S. A. de. Fertilidade do solo e sustentabilidade da atividade agrícola. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L., eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Universidade Federal de Viçosa, 2007. p. 991-1017.

GOLCHIN, A.; OADES, J.M.; SKJEMSTAD, J.O.; CLARKE, P. Study of free and occluded particulate organic-matter in soils by solid-state <sup>13</sup>C CP/MAS NMR-Spectroscopy and scanning electron-microscopy. **Australian Journal of Soil Research**, v.32, p.285-309, 1994.

GREGO, C.R.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.29, p.169- 177, 2005.

GREGORICH, E. G.; ELLERT, B. H.; MONREAL, C. M. Turnover of soil organic matter and storage of corn residue carbon estimated from natural <sup>13</sup>C abundance. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, p. 161-167, 1995.

GRIFFITHS B.S., KUAN H.L., RITZ K, GLOVER L.A, MCCAIG A.E., FENWICK C. The relationship between microbial community structure and functional stability, tested experimentally in an upland pasture. **Soil Microbial Ecology**, v.47, p.104–113, 2004.

GUEDES FILHO, O. **Variabilidade espacial e temporal de mapas de colheita e atributos do solo em um sistema de semeadura direta**. Dissertação (Mestrado em agricultura Tropical e Subtropical) Campinas: Instituto Agrônômico, 2009. 97 p.

HARGREAVES, P.R.; BROOKES, P.C.; ROSS, G.J.S.; POULTON, P.R.; Evaluating soil microbial biomass carbon as an indicator of long-term environmental change. **Soil Biology and Biochemistry**, v.35 p.401–407, 2003.

HERRICK, J.E. Soil quality: An indicator of sustainable land management? **Apply Soil Ecology**, v. 15, p. 75-83, 2000.

HOWELER, R.H.; SIEVERDING, E.; SAIF, S.R.. Practical aspects of mycorrhizal technology in some tropical crops and pastures. **Plant and Soil**, 100: 249-283. 1987.

JANTALIA, C. P., PETRERE, C., AITA, C., GIACOMINI, S., URQUIAGA, S., ALVES, B. J. R., & BODDEY, R. M. Estoques de carbono e nitrogênio do solo após 17 anos sob preparo

convencional e plantio direto em dois sistemas de rotação de culturas em Cruz Alta, RS. **Embrapa Agrobiologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. 2006.

JENKINSON, D.S.; FOX, R.H. & RAYNER, J.H. Interaction between fertilizer nitrogen and soil nitrogen. The so-called “priming” effect. **J. Soil Sci., London**, 36:425-444, 1985

JENNY, H. **Factors of soil formation**. New York: McGraw-Hill, 1941. 281p.

JOURNAL, A.G.; HUIJBREGTS, C.J. **Mining geostatistics**. London: Academic Press, 1978. 600p.

JOHNSON, N.C. & PFLEGER, F.L. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and cultural stresses. In: BETHLENFALVAY, G.J. & LINDERMAN, R.G., eds. **Mycorrhizae in sustainable agriculture**. Madison, ASA, 1992.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J. ; D O R A N , J . W . ;CLINE, R.G.; HARRIS, R. F. & SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 4-10, 1997.

KASCHUK, G., ALBERTON, O., HUNGRIA, M., Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indicators for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, 2010, p. 1–13.

KENNEDY, A. C.; SMITH, K. L. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. **Plant and soil**, Hague, v. 170, p. 75-86, 1995.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Ceres, 264p. 1979.

KOGEL-KNABNER, I. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 34, n. 2, p. 139-162, 2002.

KUZYAKOV Y.V., FRIEDEL J.K., STAHR K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. **Soil Biology and Biochemistry**. 32 (11-12): 1485-1498. 2000.

LAVELLE, P. Ecological challenges for soil science. **Soil Science**, Washington, v. 165, n. 1, p. 73-86, 2000.

LOSS, A.; ANGELINI, G.A.R.; PEREIRA, A.C.C.; LÃ,O.R.; MAGALHÃES, M.O.L.; SILVA, E.M.R.; SAGGIN JUNIOR, O.J. Atributos químicos do solo e ocorrência de fungos micorrízicos sob áreas de pastagem e sistema agroflorestal, Brasil. **Acta Agronómica (Palmira)**, v 58. P. 91-95. 2009.

LOSS, A.; PEREIRA, A.C.C.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, E.M.R. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p913-922, 2010

LOUREIRO, D.C.; DE-POLLI, H.; CEDDIA, M. B.; AQUINO, A. M. Spatial variability of microbial biomass and organic matter labile pools in a haplic planosol soil **Bragantia**, Campinas, v. 69, Suplemento, p. 85-95, 2010

LOVELOCK, C.E.; WRIGHT, S.F.; CLARK, D.A.; RUESS, R.W. Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape. **Journal of Ecology**, 92: 278-287, 2004.

LUCA, E. F.; FELLER, C.; CERRI, C. C.; BARTHÈS, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D. C.; MANECHINI, C Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos

com queima e sem queima de canavial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, Apr. 2008.

MAGID, J.; TIESSEN, H. & CONDRON, L.M. Dynamics of organic phosphorus in soils under natural and agricultural ecosystems. In: PICCOLO, A., ed. **Humic substances in terrestrial ecosystems**. Amsterdam, Elsevier, 1996. p.429-466

MATA, M.G.F., **Qualidade do solo e avaliação microeconômica de um módulo experimental de produção orgânica intensiva de hortaliças**. (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

McGONIGLE, T. P.; MILLER, M. H. Mycorrhizal, phosphorus absorption and yield of maize in response to tillage. **Soil Science Society of America Journal**, Seattle, v. 60, n. 6, p. 1856-1861, 1996.

MENDES, I. C.; REIS JR, F. B. Bioindicadores para Avaliação da Qualidade dos Solos Tropicais: utopia ou realidade? **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Embrapa Cerrados. 2009.

MENDES, I. C.; REIS JR, F. B. **Uso de Parâmetros Microbiológicos como Indicadores para Avaliar a Qualidade do Solo e a Sustentabilidade**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Cerrados. 2004, p. 112.

MERGULHÃO, A. C. E. S. **Aspectos ecológicos e moleculares de fungos micorrízicos**. 168 f. Tese (Doutorado), Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L. A. O. (Org.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo – ecossistemas tropical e subtropical**. 2º Ed. Porto Alegre, 2008.

MIRANDA, J.C.C.; MIRANDA, L.N. **Dependência Micorrízica de Diferentes Culturas Anuais, Adubos Verdes e Pastagens em Solos de Cerrado**. EMBRAPA-CAPAC. Comunicado Técnico, 144. 2004.

MIRANDA, J.C.C; VILELA, L.; MIRANDA, L.N. Dinâmica e a contribuição de micorrizas arbusculares em sistemas de produção com rotação de culturas. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 1005-1014. 2005.

MIRANDA, J.C.C. **Cerrado: Micorriza arbuscular, ocorrência e manejo**. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2008.

MIRANDA, J.C.C.; SILVA, E.M. SAGGIN JUNIOR, O.J. Comunidades de fungos micorrízicos arbusculares associados ao amendoim forrageiro em pastagens consorciadas no Estado do Acre, Brasil. **Acta amazônica**, vol. 40(1) 2010.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & FRANCHINI, J. C. **Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais**. (Encarte Técnico Informações Agronômicas, 92). 2000.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2ª edição. Lavras, Editora UFLA. 2006. 626p.

MORTON, J.B. Problems and solutions for the integration of Glomalean taxonomy, systematic biology, and the study of endomycorrhizal phenomena. **Mycorrhiza**, 2:97-109, 1993.

- NANNIPIERI, P.; ASCHER, J.; CECCHERINI, M. T.; LANDI, L.; PIETRAMELLARA, G.; RENELLA, G. Microbial diversity and soil functions. **European Journal of Soil Science**, v. 54, n. 4, p. 655-670, 2003.
- NASCIMENTO, P. C.; LANI, J. L.; MENDONÇA, E. S.; ZOFFOLI, H. J. O.; PEIXOTO, H. T. M. Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 339-348, 2010.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. & BARROS, N.F. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. São Paulo: Guanabara, 1988. 434 p.
- OLIVIERA, E. A. **Desenvolvimento de substratos orgânicos, com base na vermicompostagem, para produção de mudas de hortaliças em cultivo protegido**. Dissertação mestrado (Agronomia- Fitotecnia). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2011.
- OVALLES, F.; REY, J. Variabilidad interna de unidades de fertilidad en suelos de La depresión del lago de Valencia. **Agronomia Tropical**, v.44, p.41-65, 1994.
- PERRY, D. A.; AMARANTHUS, M. P.; BORCHERS, J. G.; BORCHERS, S. L.; BRAINERD, R. E. Bootstrapping in ecosystems. **Bioscience**, Washington, v. 39, n. 4, p. 230-237, 1989.
- PIANKA, E.R. On r- and k- selection. **The American Naturalist**, Vol. 104, Nº. 940, p. 592-597. 1970
- PICKLES, B. J.; GENNEY, D. R.; POTTS, J. M.; LENNON, J. J.; ANDERSON, I. C.; ALEXANDER, I. J. Spatial and temporal ecology of Scots pine ectomycorrhizas. **New Phytologist**. 2010.
- PINHEIRO, E.F.M.; LIMA, E.; CEDDIA, M.B.; UQUIAGA,S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. Impact of pre-harvest burning versus trash conservation on soil carbon and nitrogen stocks on a sugarcane plantation in the Brazil Atlantic Forest region. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 333, p; 71-80, 2010.
- PINHEIRO, L. B. A.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G.; DUARTE, S.T. Avaliação da aptidão agrícola para uso florestal. **Floresta e ambiente**. v. 7, n.1, p.54 - 59, jan./dez. 2000.
- PURIN, S. **Fungos micorrízicos arbusculares: atividade, diversidade e aspectos funcionais em sistemas de produção de maçã**. Dissertação de Mestrado. Lages, UDESC, 2005. 147p.
- PURIN, S.; RILLIG, M.C. The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalin: Limitations, progress and a new hypothesis for its function. **Pedobiologia** 51: 123-130. 2007.
- REICHERT, J.M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas **Ciência & Ambiente**, v. 27, 2003.
- REIS, V. M.; DE PAULA, M. A.; DÖBEREINER, J. Ocorrência de micorrizas arbusculares e da bactéria diazotrófica *Acetobacter diazotrophicus* em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 34(10), 1933-1941. 1999
- RILLIG, M.C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. **Canadian Journal of Soil Science**, 84: 355–363. 2004.



- RILLIG, M.C.; WRIGHT, S.F.; NICHOLS, W.F.; SCHMIDT, W.S. TORN, M.S. Large contribution of Arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. **Plant and Soil**, 233: 167–177. 2001.
- ROESCH, L., FULTHORPE, R., RIVA, A., CASELLA, G., HADWIN, A., KENT, A., DAROUB, S., CAMARGO, F., FARMERIE, W., TRIPLETT, E.. Pyrosequencing enumerates and contrasts soil microbial diversity. **Isme Journal**, v. 1, p. 283-290, 2007.
- ROSCOE, R.; MACHADO, P.L.O.A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2002. 86p.
- SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S. R.; SPAROVEK, G.. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 1, Mar. 1998.
- SANDERS, I.R.; CLAPP, J.P.; WIEMKEN, A. The genetic diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in natural ecosystems – a key to understand the ecology and functioning of the mycorrhizal symbiosis. **New Phytologist** 133: 123-134. 1996
- SANTOS, M.L.; CARVALHO, M.P.; RAPASSI, R.M.A.; MURAISHI, C.T.; ALLER, A.; MATOS, F.A. Correlação linear e espacial entre produtividade de milho e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto do cerrado brasileiro. **Acta Scientiarum Agronomy**., Maringá, n.28, p.313-321, 2006.
- SCHLOTTER, M.; DILLY, O.; MUNCH, J.C. Indicators for evaluating soil quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 98: 255-262. 2003.
- SCHNEIDER, J.; KLAUBERG FILHO, O.; FONTOURA, S. M.; ALVES, M. V. Influência de diferentes sistemas de manejo e calagem em experimento de longa duração sobre fungos micorrízicos arbusculares. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 701-709, 2011.
- SCHREINER, R. P. Spatial and temporal variation of roots, arbuscular mycorrhizal fungi, and plant and soil nutrients in a mature Pinot Noir (*Vitis vinifera* L.) vineyard in Oregon, USA. **Plant and Soil**. 2005.
- SCHÜBLER, A.; WALKER, C. The Glomeromycota: A species list with new families and new genera. 2010. Disponível em: <<http://www.amf-phylogeny.com>>. Acesso em: janeiro/2013.
- SILVA, A.P. da; LIBARDI, P.L.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial da resistência à penetração de um latossolo vermelho-escuro ao longo de uma transeção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, p.1-5, 1989.
- SILVA, E.E. ; DE-POLLI, H. ; LOSS, A. ; PEREIRA, M.G. ;RIBEIRO, R.L.D. ; GUERRA, J.G.M. . Matéria orgânica e fertilidade do solo em cultivos consorciados de couve com leguminosas anuais. **Revista Ceres**, v.56, p.93-102, 2009.
- SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. de S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L., eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, UFV, 2007.
- SILVA, I.R.; MELLO, C.M.A.; FERREIRA NETO, R.A.; SILVA, D.K.A.; MELO, A.L.; OEHL, F.; MAIA, L.C. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi along na environmental gradient in the Brazilian semiarid. **Applied Soil Ecology**, 84:166-175. 2014.

SILVA JUNIOR, J.P. & CARDOSO, E.J.B.N. Micorriza arbuscular em cupuaçu e pupunha cultivados em sistema agroflorestal e em monocultivo na Amazônia Central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41:819-825 2006.

SILVEIRA, A. P.D.; FREITAS, S. S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agronômico, 2007. 312 p

SILVEIRA, P.M.; ZIMMERMANN, F.J.P.; SILVA, S.C.; CUNHA, A.A. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.2057-2064, 2000.

SMITH, J. L.; HALVORSON, J. J. & PAPENDICK, R. I. Using multiple-variable indicator kriging for evaluating soil quality. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, p. 743-749, 1993.

SMITH J. L.; HALVORSON, J.J. Field Scale Studies on the Spatial Variability of Soil Quality Indicators in Washington State, USA. **Applied and Environmental Soil Science**. 2011

SOUZA, C. S. Glomalina: características, produção, limitações e contribuições nos solos. **Semina: Ciências agrárias**, Londrina, v.33, suplemento 1, p. 3033-3044. 2012.

SOUZA, F.A.; STÜRMER, S.L.; CARRENHO, R.; TRUFEM, S.F.B. Classificação e taxonomia de fungos micorrízicos arbusculares e sua diversidade e ocorrência no Brasil. In: SIQUEIRA, J.O.; DE SOUZA, F.A.; CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. (eds.) **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras, UFLA, pp. 15-73. 2010.

SOUZA, F. A. de; TRUFEM, S. F. B.; ALMEIDA, D. L. de; SILVA, E. M. R. da; GUERRA, J. G. M. Efeito de pré-cultivo sobre o potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares e produção da mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 1913-1923, 1999.

SOUZA, J.R. **Influência dos cultivos de milho e *Crotalaria juncea* inoculados com fungo micorrízico arbuscular (FMA) no desempenho agrônômico de batata-doce em sucessão**. Dissertação (mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2010.

SOUZA, L.S. **Variabilidade espacial do solo em sistema de manejo**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1992. 162p

SOUZA, W.J.O.; MELO, W.J. Matéria orgânica em um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1113-1122, 2003.

SOUZA, Z.M.; SILVA, M.L.S.; GUIMARÃES, D.T.S.; CARVALHO, M.P.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob emeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.25, p.699-707, 2001.

STEVENSON, F. J.; ELLIOTT, E. T. Methodologies for assessing the quantity and quality of organic matter. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (Ed.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**: NifTAL Project. Honolulu: University of Hawaii, 1989. p. 173-199.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reaction**. New York: John Wiley & Sons, 1982.

STÜRMER, S.L. & SIQUEIRA, J.O. Diversidade de Fungos Micorrízicos Arbusculares em Ecossistemas Brasileiros. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.; BRUSSAARD, L. eds.

**Biodiversidade do Solo em Ecossistemas Brasileiros.** Lavras, Editora UFLA, 2008. p.537-583.

SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T.; SUMNER, M.E. (Ed.). **Methods of soil analysis.** Madison: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, 1996. p.1011-1020. (Soil Science Society of America Book Series, 5)

TITTONELL, P.; VAN LAUWE, B.; RIDDER, N.; GILLER, K.. Heterogeneity of Crop Productivity and Resource Use Efficiency Within Smallholder Kenyan Farms: Soil Fertility Gradients or Management Intensity Gradients?, **Agricultural Systems**, v. 94, p. 376-390. 2007.

THENG, B.K.G.; TATE, K.R.; BECKER-HEIDMANN, P. Towards establishing the age, location and identify of the inert soil organic matter of spodosol. **Zeitschrift Pflanzenernahr Bodenk**, v. 155, p.181-184, 1992.

TOTOLA, M. R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade dos solos. In: ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.R.; BARROS, N. F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Ed). **Tópicos em Ciência do Solo.** Viçosa: sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 2, p. 195-276, 2002,.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advance Agronomy**, v.38, p.45-94, 1985.

VALERIANO, M.M.; PRADO, H. Técnicas de geoprocessamento e de amostragem para o mapeamento de atributos anisotrópicos do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 25, p.997-1005, 2001.

VAN BRUGGEN, A. H. C.; SEMENOV, A. M. In search of biological indicators for soil health and disease suppression. **Applied Soil Ecology**, v. 15, p. 13-24, 2000.

VASCONCELLOS, R. L., BONFIM, J. A., BARETTA, D., & CARDOSO, E. J. Arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin - related soil protein as potential indicators of soil quality in a recuperation gradient of the atlantic forest in brazil. **Land Degradation & Development**. 2013.

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

VEZZANI, F. M.; AMADO, T. J. C.; SULZBACH, L.; CONCEIÇÃO, P. C. & GRAPEGGIA Jr., G. Relações da qualidade do solo com a produtividade das culturas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, XIV. Cuiabá, 2002. **Anais...** UFMT, Cuiabá. 2002.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 213-223, 2011.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. **O solo como sistema.** Curitiba: Ed. Dos autores. 104 p. 2011.

VIEIRA, S. R., NOVAIS, R. D., ALVAREZ, V. H., & SCHAEFER, C. E. G. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1, 1-54. 2000.

- VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C.; REYNOLDS, W.D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: Alvarez, V.V.H.; Schaefer, C.E.G.R.; Barros, N.F.; Mello, J.W.V.; Costa, J.M. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.2, p.1-45, 2002.
- VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, n.45, p.1040-1048, 1981.
- VILELA, L.A.F. **Fungos Micorrizicos arbusculares, estabilidade de agregados e atividade microbiana de um latossolo vermelho de cerra submetido a sucessões de cultivo**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí. 2012.
- VALLE, T. **Nova metodologia de fracionamento e caracterização de huminas e suas interações com constituintes inorgânicos de solos**. Dissertação (mestrado em química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2006.
- WIESINIESKI, J. A. **Estudo de retenção de espécies metabólicas nos sedimentos das lagoas de decantação do aterro controlado por Botuquara**. Dissertação (Mestrado em Química aplicada) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, PR. 2009
- WRIGHT, S. F., UPADHYAYA, A. Quantification of arbuscular mycorrhizal fungi activity by the glomalin concentration on hyphal traps. **Mycorrhiza**, v. 8, p. 283-285. 1999.
- WRIGHT, S. F.;FRANKE-SNYDER, M.; MORTON J.B.; UPADHYAYA, A. timecourse study and partial characterization of protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. **Plant and Soil**, v. 181, p. 193-203. 1996.
- WRIGHT, S.F., UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**, 161: 575-586, 1996.
- WRIGHT, S.F.; A. UPADHYAYA. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant Soil**, 198:97–107. 1998.
- WRIGHT, S.F.; ANDERSON, R.L. Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plain. **Biology and Fertility of Soils**, 31: 249-253, 2000.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, vol. 19 (13):1467-1476, 1988.