

UFRRJ

**INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

DISSERTAÇÃO

**Biomassa Microbiana e Constituintes Lábeis da
Matéria Orgânica do Solo sob Diferentes Sistemas de
Manejo Fitotécnico e Cobertura Vegetal**

Diego Campana Loureiro

2008



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

**BIOMASSA MICROBIANA E CONSTITUINTES LÁBEIS DA
MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE
MANEJO FITOTÉCNICO E COBERTURA VEGETAL**

DIEGO CAMPANA LOUREIRO

Sob a Orientação do Professor

Helvécio De-Polli

e co-orientação dos Professores

Marcos Bacis Ceddia

Adriana Maria de Aquino

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

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2008

630.2745

L892b

T

Loureiro, Diego Campana, 1981-
Biomassa microbiana e constituintes
lábeis da matéria orgânica do solo sob
diferentes sistemas de manejo fitotécnico e
cobertura vegetal / Diego Campana Loureiro
- 2008.
50f. : il.

Orientador: Helvécio De-Polli.
Dissertação (mestrado) - Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto
de Agronomia, Curso de Pós-Graduação em
Fitotecnia.

Bibliografia: f. 39-50

1. Ecologia agrícola - Teses. 2.
Ecologia do solo - Teses. 3. Húmus -
Teses. 4. Microorganismos do solo - Teses.
I. De-Polli, Helvécio, 1947-. II.
Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro. Instituto de Agronomia. Curso de
Pós-Graduação em Fitotecnia. III. Título.

Bibliotecário: _____

Data: ___/___/___

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

DIEGO CAMPANA LOUREIRO

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, área de Concentração em Agroecologia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 27/02/2008

Helvécio De-Polli. (Ph.D.) Embrapa Agrobiologia
(Orientador)

Maria de Lourdes Mendonça Santos Brefin. (Ph.D.) Embrapa Solos

Marco Antônio de Almeida Leal. (Dr.) Embrapa Agrobiologia

HOMENAGEM

Aos meus orientadores e queridos amigos Helvécio, Bacis e Adriana, que me apoiaram em toda a fase de desenvolvimento deste trabalho, com seus ensinamentos, confiança e incentivo, contribuindo de forma inestimável para a minha formação profissional. Agradeço do fundo do coração por tudo.

DEDICO

Aos meus pais Waldivio e Ângela, pelo amor e minha educação.

Ao meu irmão Gabriel, “homem do mar”, pelo companheirismo.

Aos queridos amigos, pela verdadeira amizade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta dissertação, em especial à:

UFRRJ por estes oito anos de convívio e aprendizagem.

Departamento de Fitotecnia por possibilitar minha participação neste curso.

CAPES, CNPq e FAPERJ pelo apoio financeiro.

SIPA e seus funcionários, pelos ensinamentos práticos em agroecologia.

Ao meu amigo orientador Helvécio, pela confiança, calma e a alegria que contagia a todos, e com ética me ensinou muito mais do que pesquisa.

As minhas queridas amigas e orientadoras de toda uma vida, Adriana, Beth e Janaína que me inseriram na pesquisa, serei eternamente grato a vocês.

Ao grande Bacis que me acolheu com muito humor e confiança, me orientando de forma inestimável, um amigo que conheci graças à geostatística, valeu!

Professores Eduardo, Zonta e Berbara do Departamento de Solos, pelo ensino e apoio nas análises laboratoriais.

Edmilson, Pedro, Altiberto, Roberto, Selmo, Natalia, Ingrid, Andréia e Érika pelos ensinamentos em práticas laboratoriais.

Aos amigos da RURAL pela alegria de ser ruralino.

ANTONIO, pelos ensinamentos em filosofia agroecológica e a NOBRE amizade.

André “Froter” e José Dias pela ajuda no georreferenciamento, mas acima de tudo pela verdadeira amizade e companheirismo.

Ao amigo e companheiro de loja e vida, Eng. Agrº. Salmi “o leque”, com sua electricidade de viver a vida sempre me apoiou nos momentos bons e ruins.

Aos amigos da Montanha, “Carlin”, “Bin Ladi”, “Japa”, “Julião”, “Leandrão”, “Patrickão” e o “Véi”, pelos 8 anos de aventura, 8 anos de futebol, 8 anos de rural e todos os anos da vida de amizade, vocês estão guardados para sempre em minha memória.

As amigas “vizinhas”, Emi, Vivian, Paulinha, Talita, agregados, e claro ao Sbug e o Marú, pela alegria proporcionada, vocês fazem parte da minha vida. O “vizinho” adora a amizade de vocês.

As mulheres da minha vida, pelo encanto, carinho, companheirismo e amor, amigas especiais que levo no coração.

Minha família pelo apoio e compreensão, principalmente aos meus pais e meu grande irmão pelo amor, pelos ensinamentos, apoio e confiança, sem vocês eu não chegaria aonde cheguei, vocês são tudo pra mim. Dedico este trabalho com muito esforço e saudades a vocês.

RESUMO

LOUREIRO, Diego Campana. **Biomassa microbiana e constituintes lábeis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo fitotécnico e cobertura vegetal**. 2008. 50p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.

O objetivo do trabalho foi estudar a variabilidade espacial da biomassa microbiana (BMS) e os constituintes lábeis da matéria orgânica do solo (MOS), sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal. O experimento foi instalado em um Planossolo Háplico no Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA) da Embrapa Agrobiologia/UFRRJ/Pesagro, Seropédica/RJ. Os sistemas de manejo avaliados foram: cultivo em aléias, pastagem e horto florestal como área de referência. Para a amostragem utilizou-se 3 grades regulares com espaçamento de 2,5 metros, composta de 25 pontos georreferenciados para cada grade, onde coletou-se amostras de solo na profundidade de 0-10 cm. Em cada amostra determinou-se os teores de C e N associados à BMS e os seguintes constituintes lábeis da MOS: fração leve livre, formas de C e N solúveis em água e teor de glomalina. Determinaram-se também as frações granulométricas areia, silte, argila, umidade gravimétrica, bem como os atributos químicos cálcio, magnésio, fósforo, potássio, carbono orgânico, nitrogênio total, alumínio, CTC e pH em água. Somente as áreas de cultivo em aléias e pastagem apresentaram dependência espacial para os atributos da MOS. A ocorrência de maior dependência espacial dos parâmetros associados à BMS nas aléias (Corg, fração leve livre da MO, BMS-N e respiração) deveu-se provavelmente a fatores extrínsecos relacionados ao manejo, tais como: intensa rotação e diversidade de culturas e aporte diferenciado de adubos orgânicos (material de poda e aplicação de compostos orgânicos).

Palavras-Chave: agroecologia, geoestatística, análise de componentes principais, glomalina, agricultura de precisão.

ABSTRACT

LOUREIRO, Diego Campana Loureiro. **Spatial variability of soil microbial biomass under different phytotechnical management and cover cropping.** 2008. 50p. Dissertation (Master Science in Phytotechnie). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.

The objective of this work was to study the spatial variability of microbial biomass (BMS) and labile soil organic matter pools (MOS), under different systems of management and plant cover. The experiment was conducted in a Haplic Planosol soil on an Integrated Agroecological Production System (SIPA) at Embrapa Agrobiology Center/UFRRJ/Pesagro, Seropédica, Rio de Janeiro. The evaluated management systems were: alley cropping, pasture, and forest garden as a reference area. It was used as sampling system three grids of regular spacing of 2.5 meters, consisting of 25 georeferentiated points, where soil samples at 10cm depth were taken. The following labile constituents were determined: free light fraction (FLL), water soluble C and N, C and N of BMS, and glomalin content. The areas of alley cropping and pasture showed spatial dependence to the attributes of MOS. The occurrence of larger spatial dependence of the parameters associated to microbial biomass in the alley cropping system (Corg, FLL, BMS-N and respiration), probably was due to external factors related to management, such as: intensive rotational cropping system, diversity of cultures and different inputs of organic matter to soil (pruning material and organic compost).

Key words: agroecology, geoestatistic, analysis of main components, glomalin, precision agriculture.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estatística descritiva de biomassa microbiana e constituintes lábeis da MOS, e atributos físicos do solo.....	22
Tabela 2: Coeficientes de correlação linear de Pearson (r) entre os atributos estudados.....	23
Tabela 3: Valores teóricos estimados dos semivariogramas	25
Tabela 4: Significância dos componentes principais.....	31
Tabela 5: Variância proporcional e acumulada dos componentes principais.....	31
Tabela 6: Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (BMSC, BMSN) e biomassa microbiana “plus” (BMSpC; BMSpN), carbono e nitrogênio lábil (Clab, Nlab), BMSC/BMSN (C/Nmic), Clab/Nlab (C/Nlab), BMSC/Corg (CmicC); BMSN/Ntot (NmicN), respiração e quociente metabólico (qCO ₂) sob diferentes sistemas de cobertura vegetal do solo	33
Tabela 7: Análise química do solo sob diferentes sistemas de cobertura vegetal	34
Tabela 8: Nível de equilíbrio (Nível de Eq) e quociente metabólico (qCO ₂) em função do manejo fitotécnico e cobertura vegetal do solo	34
Tabela 9: Coeficientes de correlação linear de Pearson (r) entre os atributos estudados.....	35
Tabela 10: Fração leve livre da MOS (FLL), glomalina e textura do solo sob diferentes sistemas de cobertura vegetal	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema dos processos de formação da MOS a partir dos resíduos de plantas e animais (modificado de HODGES, 1998; HATCHER & SPIKER, 1988).....	5
Figura 2: Parâmetros do semivariograma: alcance (a), patamar (C), efeito pepita (Co). Fonte: (CAMARGO et al., 2005).	9
Figura 3: Área estudada (SIPA)	13
Figura 4: Área de cultivo em aléias.....	14
Figura 5: Área de pastagem.....	14
Figura 6: Área de Horto florestal.	15
Figura 7: Grade regular de amostragem.....	16
Figura 8: Área de solo exposto.....	17
Figura 9: Semivariogramas de argila, Corg, biomassa microbiana e constituintes lábeis da MOS.	26
Figura 10: Variabilidade espacial do Corg $g\ kg^{-1}$ (a) e respiração $mg\ C-CO_2\ kg^{-1}\ solo\ h^{-1}$ (b) no cultivo em aléias.	27
Figura 11: Variabilidade espacial da FLL $g\ g^{-1}$ (a) e BMSN $mg\ C\ kg^{-1}\ solo$ (b) no cultivo em aléias.	27
Figura 12: Variabilidade espacial da relação C/Nmic (a) e Corg $g\ kg^{-1}$ (b) na pastagem.....	28
Figura 13: Variabilidade espacial da argila (%) no horto florestal.	29
Figura 14: Distribuição espacial dos diferentes sistemas de manejo fitotécnico e cobertura vegetal (Prin1*Prin2).....	30
Figura 15: Análise de Componentes Principais (ACP) dos atributos químicos, físicos, biomassa microbiana e constituintes lábeis da MOS sob diferentes sistemas de manejo fitotécnico e cobertura vegetal.....	32

LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

MOS	matéria orgânica do solo
Corg	carbono orgânico (g kg^{-1})
Ntot	nitrogênio total (g kg^{-1})
C/N	relação carbono/nitrogênio
T	capacidade de troca catiônica – CTC (cmolc dm^{-3})
ArgT	argila total (%)
BMS	biomassa microbiana do solo
BMSC	carbono da biomassa microbiana do solo (mg C kg^{-1} solo)
BMSN	nitrogênio da biomassa microbiana do solo (mg C kg^{-1} solo)
BMSpC	carbono da biomassa microbiana plus do solo (mg C kg^{-1} solo)
BMSpN	nitrogênio da biomassa microbiana plus do solo (mg C kg^{-1} solo)
C/Nmic	relação carbono microbiano/nitrogênio microbiano
CmicC	relação carbono microbiano/carbono orgânico (%)
NmicN	relação nitrogênio microbiano/nitrogênio total (%)
Clab	carbono lábil (mg C kg^{-1} solo)
Nlab	nitrogênio lábil (mg C kg^{-1} solo)
C/Nlab	relação carbono lábil/nitrogênio lábil
Resp	respiração microbiana ($\text{mgC-CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ solo h^{-1})
qCO ₂	quociente metabólico do solo ($\text{mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{BM h}^{-1}$)
FLL	fração leve livre da matéria orgânica do solo (g g^{-1})
GT	glomalina total do solo (mg g^{-1})
Ug	umidade gravimétrica (%)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	2
2.1	SISTEMA DE PRODUÇÃO AGROECOLÓGICO.....	2
2.2	MANEJO FITOTÉCNICO E COBERTURA VEGETAL DO SOLO.....	3
2.3	BIOMASSA MICROBIANA (BMS) E CONSTITUINTES LÁBEIS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO (MOS).....	4
2.4	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	7
2.5	VARIABILIDADE ESPACIAL.....	8
2.6	ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP).....	10
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1	AMOSTRAGEM E HISTÓRICO DA ÁREA DE ESTUDO.....	12
3.2	ANÁLISES, SISTEMATIZAÇÃO E MODELAGEM DOS DADOS PELA GEOESTATÍSTICA.....	17
3.3	ANÁLISE MULTIVARIADA.....	17
3.4	NÍVEL DE EQUILÍBRIO DO MANEJO FITOTÉCNICO (NÍVEL DE EQ).....	18
3.5	ANÁLISES DA BIOMASSA MICROBIANA E DOS CONSTITUINTES LÁBEIS DA MOS.....	18
3.5.1	Biomassa Microbiana do Solo (BMS).....	18
3.5.2	Biomassa Microbiana Plus do Solo (BMSp).....	18
3.5.3	Respiração e quociente metabólico do solo.....	18
3.5.4	Carbono e Nitrogênio Lábeis do Solo.....	19
3.5.5	Fração Leve Livre da Matéria Orgânica do Solo (FLL).....	19
3.5.6	Biomolécula Glomalina.....	19
3.6	ANÁLISES DOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO.....	19
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4.1	ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA.....	20
4.2	ANÁLISE DE VARIABILIDADE ESPACIAL.....	24
4.3	VARIABILIDADE ESPACIAL DE ARGILA, CORG, BIOMASSA MICROBIANA E CONSTITUINTES LÁBEIS DA MOS.....	27
4.3	ANÁLISE MULTIVARIADA E NÍVEL DE EQUILÍBRIO DO MANEJO FITOTÉCNICO.....	30
5	CONCLUSÕES.....	37
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

Vários trabalhos na literatura demonstram a importância de se monitorar a quantidade e qualidade da Matéria Orgânica do solo (MOS) de forma a conciliar produções maiores com uso menos intensivo do solo (SOUZA et al., 2006; HOPMANS et al., 2005; MOREIRA & MALAVOLTA, 2004; D'ANDRÉA et al., 2004; MARCHIORI JUNIOR & MELO, 2000). A atividade microbiana do solo, bem como as frações lábeis da MOS são consideradas importantes indicadores da sustentabilidade dos sistemas de manejo (MALUCHE-BARETTA et al., 2006; FRAISSE et al., 1999; SWEZEY et al., 1998).

A maioria dos estudos relacionados à microbiota do solo utiliza atributos quantitativos, tais como, biomassa microbiana (BMS), respiração e quociente metabólico (qCO_2) para estabelecer uma sistemática de interpretação que revele a qualidade da MOS. Outros atributos da fração prontamente metabolizável da MOS, que também auxiliam na interpretação desta qualidade são glomalina, carbono solúvel e fração leve livre. A interpretação das interações destes atributos pode propiciar uma visão que indiquem mudanças ocorridas no ambiente pela prática de manejo fitotécnico.

Outro aspecto relacionado ao estudo da BMS é que, na maioria dos casos, utiliza-se estatística clássica (estimadores de média, variância, coeficiente de variação) e assume-se que os dados apresentam distribuição normal e variância aleatória (MARTINAZZO et al., 2007; ASSIS JÚNIOR et al., 2003; MARCHIORI JUNIOR & MELO, 2000; ALVARENGA et al., 1999). Em geral, atributos de solo que estão sujeitos à variação temporal (atividade microbiana, umidade e nutrientes solúveis do solo), são frequentemente sujeitos a uma variabilidade espacial alta (HALVORSON et al., 1997). De fato, atributos como biomassa microbiana e frações lábeis tendem a apresentar, por sua própria natureza, comportamento errático no solo. Porém, em alguns casos, análises geoestatísticas revelam dependência espacial para estes atributos em função do sistema de manejo fitotécnico adotado. SEBAI et al. (2007) encontraram dependência espacial para carbono da biomassa microbiana em área de cultivo agrícola de trigo.

Segundo CARVALHO et al. (2003), a variabilidade espacial nos atributos do solo pode ser influenciada pelos seus fatores intrínsecos (fatores de formação, que são o material de origem, relevo, clima, organismos e tempo) e pelos fatores extrínsecos, normalmente relacionados com as práticas de manejo. PAZ-GONZÁLES et al. (2000), estudando a variabilidade espacial de propriedades do solo em diferentes usos do solo (área de vegetação natural e cultivada) encontrou que a área de vegetação natural foi mais diversificada, fornecendo evidências de que a retirada da mata e o cultivo em longo prazo tende a alterar o padrão de variabilidade espacial e aumentar a homogeneidade de alguns atributos do solo.

Considerando que o conhecimento da variabilidade espacial é importante para o melhor entendimento das relações entre manejo e dinâmica da matéria orgânica do solo, o objetivo desse trabalho foi estudar a variabilidade espacial da biomassa microbiana e dos constituintes lábeis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo fitotécnico e cobertura vegetal.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Sistema de Produção Agroecológico

A Agroecologia é um conjunto de processos de produção agrícola que parte do pressuposto básico de que a fertilidade é função direta da matéria orgânica contida no solo. As ações de microorganismos presentes nos compostos biodegradáveis existentes ou colocados no solo possibilitam o suprimento de elementos minerais e químicos necessários ao desenvolvimento dos vegetais cultivados. Complementarmente, a existência de uma abundante fauna microbiana diminui os desequilíbrios resultantes da intervenção humana na natureza. Nutrição adequada e ambiente saudável resultam em plantas mais vigorosas e mais resistentes a pragas e doenças. As condições de umidade e aeração e o equilíbrio do meio ambiente são fatores determinantes para a sobrevivência desses microorganismos e, conseqüentemente, sua utilização como agentes protetores e preservadores do solo (ORMOND et al., 2002).

Uma das principais práticas utilizadas neste sistema de produção é a promoção e/ou manutenção da atividade microbiana, ocorrendo a mineralização da matéria orgânica do solo e disponibilizando nutrientes para o desenvolvimento das plantas.

A utilização de insumos que tenham como base recursos minerais não-renováveis ou compostos sintéticos não é compatível com esse processo, pois representa uma intervenção brusca nas características do solo, na fisiologia das plantas e animais e, conseqüentemente, no ambiente (ORMOND et al., 2002). *“O objetivo é trabalhar com sistemas agrícolas complexos onde as interações ecológicas e sinergismos entre os componentes biológicos criem, eles próprios, a fertilidade do solo, a produtividade e a proteção das culturas”* (ALTIERI, 2001).

O que a Agroecologia traz de novo é um embasamento conceitual e uma abordagem metodológica que permite articular especialistas de diversos ramos do conhecimento para que, juntos, em projetos de pesquisa multi, inter e transdisciplinares, avancem nos estudos sobre os fundamentos da sustentabilidade dos sistemas agropecuários. Tendo como objeto de estudo o agroecossistema, a pesquisa em Agroecologia se orienta para o desenvolvimento de sistemas que potencializem os fluxos e ciclos naturais para que eles interajam em favor do desempenho produtivo de cultivos e criações. Nisso ela se diferencia frontalmente da concepção que organiza os sistemas produtivos convencionais, desenhados para controlar o ambiente agrícola e simplificar suas redes de interações ecológicas por intermédio do aporte intensivo de insumos externos e energia não renovável. A manutenção e o manejo de agroecossistemas biodiversos é a principal estratégia da Agroecologia, por meio do qual os efeitos de sinergia e sincronia entre seus componentes e subsistemas são promovidos, gerando crescentes níveis de autonomia técnica, estabilidade produtiva, resistência e resiliência ecológicas. O agroecossistema pode ser apreendido também como um sistema socioeconômico. Nele interagem subsistemas de produção de bens e serviços voltados para o mercado e para o consumo da família. Essa dupla função, as relações sociais que implicam e as diferentes formas de renda daí advindas constituem elementos centrais das estratégias de reprodução econômica do agroecossistema em seu conjunto. É nesse sentido que a eficiência econômica do agroecossistema deve ser avaliada em função tanto de suas propriedades internas, como a geração de rendas não-monetárias consumidas diretamente pela família agricultora, como de seus vínculos com os mercados, onde a família troca seus produtos por moeda corrente. Agroecologia oferece as bases para a modificação dos sistemas de produção que causam degradação social e ecológica, por meio do desenho ou redesenho de sistemas, dentro do conceito da sustentabilidade (DIDONET et al., 2006).

Segundo ALTIERI (2001), a Agroecologia apresenta os seguintes elementos técnicos:

- Conservação e regeneração dos recursos naturais – Solo, água, recursos genéticos, além da fauna e flora benéficas.
- Manejo dos recursos produtivos – Diversificação, reciclagem dos nutrientes e da matéria orgânica e regulação biótica.
- Implementação de elementos técnicos – Definição de técnicas ecológicas, escala de trabalho, integração dos elementos do sistema em foco e adequação à racionalidade dos agricultores.

Em sistemas Agroecológicos complexos, interações de caráter positivo entre a biota do solo promovem melhorias em sua estrutura e fertilidade, resultando em ambiente favorável a inúmeros processos biológicos (GLOVER et al., 2000). Processos biológicos tais como, o aumento da colonização por fungos micorrízicos (WERNER, 1997), transformação da matéria orgânica, estocagem de nutrientes (DALAL, 1998; GLOVER et al., 2000; GOH et al., 2000, 2001), entre outros indicativos de aumento na atividade biológica do solo, são indicativos das mudanças ocorridas no ambiente pelas práticas de manejo e cobertura vegetal adotada e respondem mais rapidamente as mudanças do que os atributos químicos e físicos do solo (GUNAPALA & SCOW, 1998; SWEZEY et al., 1998; GOH et al., 2000, 2001).

2.2 Manejo Fitotécnico e Cobertura Vegetal do Solo

A exploração desordenada dos solos e a retirada da cobertura vegetal intensificam o processo erosivo, culminando com a diminuição da fertilidade dos solos, o que resulta no abandono das áreas (TURETTA, 2000). Este tipo de prática agrícola, além de contribuir para a redução dos estoques de material orgânico, acelera a degradação do conjunto de propriedades edáficas associadas à matéria orgânica do solo – MOS (PINHEIRO, 2002).

Num sistema de manejo fitotécnico em que se empregam operações com intenso revolvimento do solo, como o sistema convencional, baseado em sucessivas lavrações e gradagens, a taxa de perda de carbono normalmente será maior que a taxa de adição, resultando no decréscimo dos teores de MOS originais, o que geralmente vem acompanhado da degradação do solo. Com os sistemas conservacionistas de preparo do solo, especialmente cultivo mínimo e plantio direto, os resíduos orgânicos passaram a ser mantidos na superfície do solo, diminuindo sua decomposição, ou seja, favorecendo o acúmulo de MOS, o que normalmente está associado à recuperação da capacidade produtiva do solo. A MOS depende fundamentalmente do balanço entre a quantidade de carbono adicionado e da taxa de decomposição, o que deve ser levado em consideração, entre outros aspectos, na escolha das práticas agrícolas que determinam o uso e manejo do solo. Apesar da grande dinâmica que envolve os processos de formação e decomposição da MOS, atinge-se um determinado ponto de equilíbrio entre as taxas de adição e de perda, denominado “estado estável”, a partir do qual o seu teor apresenta-se estável ao longo do tempo (ex: solos de floresta e de campo nativo). Se nesse local for implantado um novo sistema de produção agrícola, com mudanças no tipo e quantidade de resíduos vegetais (definido pelo sistema de rotação/sucessão de culturas empregado) ou ainda pelo maior ou menor revolvimento do solo (definido pelo sistema de preparo do solo), o teor de MOS será alterado até que se atinja um novo “estado estável”, ou seja, um novo ponto de equilíbrio entre as novas taxas de adição e de perda de carbono no solo (SILVA et al., 2006).

Apesar do crescente interesse em aspectos relacionados com o funcionamento biológico do solo sob sistemas naturais e agrícolas, estudos sobre o impacto de diferentes sistemas de manejo fitotécnico na biomassa e atividade microbiana dos solos tropicais são recentes (RENTZ, 1997; MENDES et al., 1999; OLIVEIRA et al., 1999; OLIVEIRA, 2000; MENDES & VIVALDI, 2001).

2.3 Biomassa Microbiana (BMS) e Constituintes Lábéis da Matéria Orgânica do Solo (MOS)

Na natureza, a matéria orgânica é produzida principalmente pelas plantas, através da conversão do CO₂ atmosférico em compostos contendo carbono, durante o processo de fotossíntese. O termo “matéria orgânica do solo” (MOS) refere-se a todos os compostos que contêm carbono orgânico no solo, incluindo os microrganismos vivos e mortos, resíduos de plantas e animais parcialmente decompostos, produtos de sua decomposição e substâncias orgânicas microbiologicamente e/ou quimicamente alteradas. Ela é gerada a partir da decomposição dos resíduos de plantas e animais, sendo formada por diversos compostos de carbono em vários graus de alteração e interação com as outras fases do solo (mineral, gasosa e solução). A composição da MOS é extremamente complexa em função da mistura de diferentes compostos e à grande variedade de processos naturais de degradação e síntese que ocorrem na sua formação (Figura 1). A MOS é composta por diferentes compartimentos (SILVA et al., 2006):

a) Fração “leve” – é a fração composta de resíduos de plantas em vários estágios de decomposição e localizados no interior do solo. Sua composição química é comparável à liteira (material orgânico presente na superfície do solo formado por tecidos de plantas e animais não decompostos e pelos produtos de sua decomposição parcial. A liteira não é componente da MOS, devendo por isso ser excluída quando da amostragem de solo para fins de avaliação da fertilidade.), pois mantém identidade com o material de origem, e a quantidade no solo é variável, de 2 a 30% da MOS, sendo influenciada por fatores climáticos, tipo de manejo e características do solo, especialmente a textura e demais variáveis que afetam a taxa de decomposição (pH, temperatura, umidade, entre outros).

b) Biomassa microbiana – é a matéria orgânica presente no solo como tecido microbiano vivo. A biomassa microbiana pode atuar, primeiramente, como agente de decomposição dos resíduos adicionados ao solo onde concorre com as plantas pelos nutrientes, podendo, inclusive, causar imobilização temporária, principalmente de nitrogênio. Em outra etapa, funciona como um compartimento que libera rapidamente os nutrientes às plantas no processo de mineralização dos resíduos e morte dos organismos.

c) Substâncias não-húmicas ou biomoléculas – deste grupo fazem parte diversos compostos orgânicos que se encontram no solo e que pertencem a conhecidas classes de bioquímicos, como os carboidratos, os aminoácidos, as gorduras, as resinas e os ácidos orgânicos de baixo peso molecular. São compostos produzidos continuamente através do ciclo dos organismos vivos no solo (sintetizados pelos microrganismos ou liberados pelas raízes das plantas), apresentando composição e estrutura química bastante conhecidas. As biomoléculas tem influência nas reações ácido-base, na complexação de metais e na agregação das partículas do solo. Sua quantidade no solo é variável (5 a 25%) mas, de maneira geral, persistem apenas por curtos períodos de tempo no solo devido a facilidade com que são transformadas pelos microrganismos.

Dentre algumas biomoléculas importantes destaca-se a proteína glomalina. Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) ao formarem a simbiose com as plantas, exploram o solo formando uma rede de hifas que envolve os agregados conferindo estabilidade aos mesmos (JASTROW & MILLER, 1997). Esta rede de hifas excreta uma proteína denominada glomalina, sendo responsável pela adesão a materiais de origem mineral, aumentando a ligação entre eles (WRIGHT & UPADHYAYA, 1996). Glomalinas são fonte ativa de exsudatos orgânicos sendo os mais prováveis agentes na estabilização de agregados (TISDALL & OADES, 1979; REID & GROSS, 1981; OADES, 1984,) por promoverem a reorientação e aproximação dos migroagregados pela sua expansão e dessecação localizados. Além disso, a

glomalina é considerada uma enorme fonte de carbono da matéria orgânica do solo contribuindo para melhor qualidade edáfica e estabilidade do ambiente (RILLIG et al., 2003).

d) Substâncias húmicas ou húmus estável – praticamente todos os compostos de carbono gerados na decomposição dos resíduos orgânicos sofrem processos de ressíntese chamados de humificação, formando um material genericamente conhecido como húmus. São compostos orgânicos com peso molecular relativamente alto, de coloração escura e gerados em reações secundárias de síntese. Constituem quase a totalidade da MOS e, devido à sua grande reatividade, são a fração envolvida na maioria das reações químicas no solo. O húmus formado no processo de humificação pode encontrar-se no solo intimamente associado a outros constituintes e mesmo dentro de agregados. Portanto, além dos processos bioquímicos, a sua estabilização pode envolver reações, como adsorção e precipitação com partículas de natureza inorgânica. Devido a essa complexidade química, essas substâncias não são facilmente atacadas pelos microrganismos do solo. Assim, decompõem-se muito lentamente, acumulando-se na natureza como MOS.

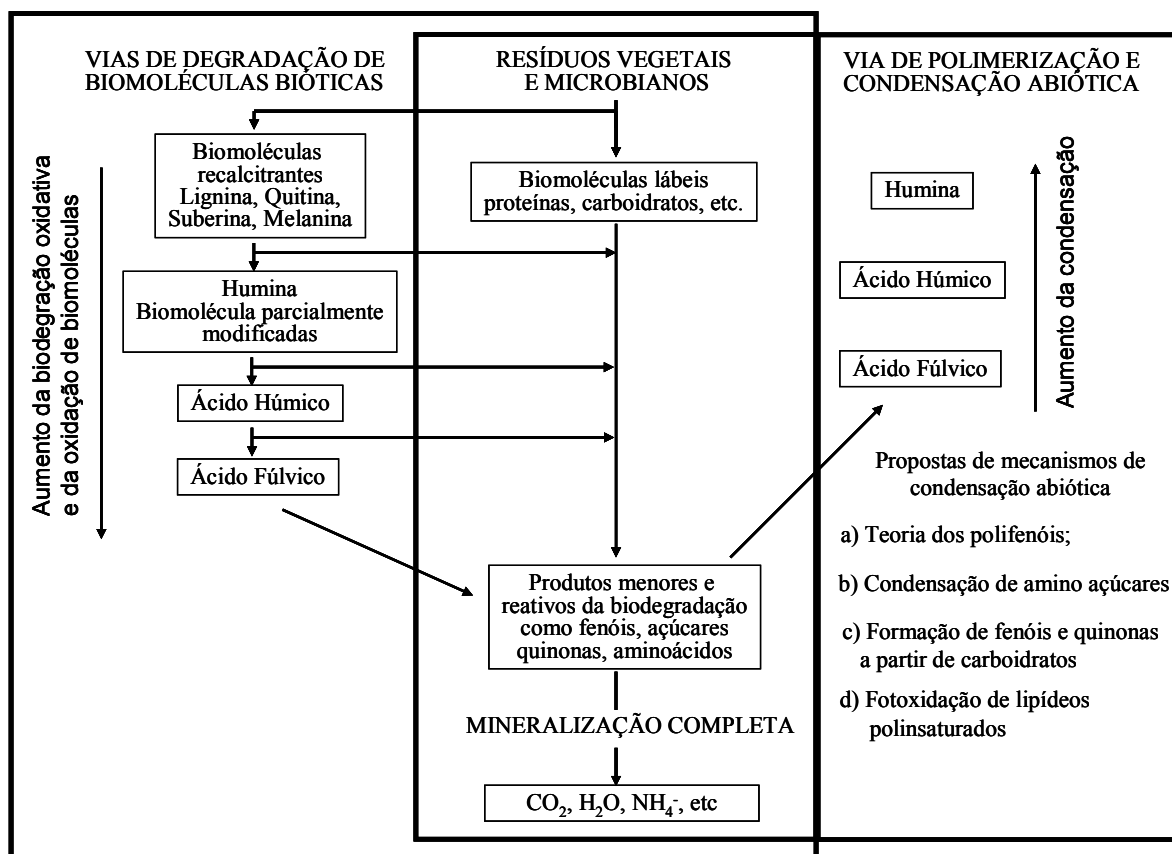


Figura 1: Esquema dos processos de formação da MOS a partir dos resíduos de plantas e animais (modificado de HODGES, 1998; HATCHER & SPIKER, 1988).

A MOS se constitui em um elemento importante como fonte de nutrientes e energia para muitos organismos, além de possibilitar benefícios como melhor estruturação e capacidade de armazenamento de água no solo, processos fundamentais para o desenvolvimento da cultura agrícola e da biota do solo (DE-POLLI & PIMENTEL, 2005).

O conteúdo de matéria orgânica no horizonte superficial dos solos minerais varia de 0,5 a 5%. Apesar de compor menos de 5% da base seca da maioria dos solos, apresenta uma alta capacidade de interagir com outros componentes, alterando assim propriedades químicas, físicas e biológicas do solo as quais afetam o crescimento e desenvolvimentos das plantas. É

um componente bastante sensível às condições ambientais e às mudanças nas práticas de manejo agrícola; por este motivo deve ser levada em consideração na avaliação do potencial produtivo do solo e na escolha das práticas de manejo a serem empregadas (SILVA et al., 2006). Esta pode ser dividida em compartimentos lábeis e estáveis. Esta classificação é baseada na suscetibilidade diferenciada das frações à decomposição microbiana, o que permite um melhor entendimento da dinâmica da MOS (SILVA & RESCK, 1997). Os constituintes lábeis da MOS incluem a liteira, fração leve da MOS, substâncias não-humificadas não associadas aos componentes minerais, formas de C solúveis em água, C associado aos macrorganismos e à biomassa microbiana.

A biomassa microbiana do solo é considerada um compartimento não protegido da MOS, com tempo de ciclagem médio, em solos de regiões tropicais, de três meses (DUXBURY et al., 1989). Dentre os atributos biológicos sensíveis às alterações nos sistemas de manejo do solo e culturas, destaca-se a biomassa microbiana, que representa a parte viva da MOS e contém, em média, de 2 a 5% do C e até 5% do nitrogênio total nos solos tropicais (SMITH & PAUL, 1990). É o componente da matéria orgânica do solo que regula as transformações e armazenamento de nutrientes através dos processos de imobilização e mineralização. É o principal componente do subsistema de decompositores, regulando a ciclagem de nutrientes, fluxo de energia e a produtividade das culturas e do ecossistema. (WARDLE, 1998; SMITH & PAUL, 1990).

Uma abordagem para medições dos microrganismos do solo é o seu estudo em uma forma holística, ou seja, considerando-se todo o conjunto de uma forma agregada que é chamada de biomassa microbiana do solo (BMS). A BMS é um compartimento importante na transformação da matéria orgânica, no ciclo de nutrientes e no fluxo de energia (JENKINSON & LADD, 1981; WARDLE, 1992; GUERRA et al., 1995; DE-POLLI & GUERRA, 1996; ALVARENGA et al., 1999; DE-POLLI et al., 2000; SINGH 2003; WANG et al., 2003; JENKINSON et al., 2004). Esta não é uma estimativa da atividade dos microrganismos, mas sim a estimativa da massa microbiana viva total do solo, com base na concentração de algum elemento ou de alguma substância celular ou diretamente por mensurações microscópicas (DE-POLLI & GUERRA, 1999; GAMA-RODRIGUES & DE-POLLI, 2000; GONÇALVES et al., 2002), e constitui a maior fração ativa da matéria orgânica do solo e, por isso, é sensível em inferir mudanças nos níveis de matéria orgânica, causadas pelo manejo de plantas, de adubação (MARCHIORI JÚNIOR & MELO, 2000) e práticas de cultivo (GAMA-RODRIGUES, 1999; PASCUAL et al., 2001) e pelo sistema agrícola adotado (BALOTA et al., 1998). Naturalmente esta biomassa tem atividade que pode ser medida e expressa em diferentes formas, sendo que a respiração microbiana é a atividade da biomassa mais comumente medida. A BMS tem sido largamente referenciada em termos de conteúdo de carbono da biomassa microbiana do solo (BMSC) por massa de solo (JENKINSON & POWLSON, 1976; VANCE et al., 1987; TATE et al., 1988). Embora sejam comuns valores de BMS se correlacionarem bem com valores de carbono orgânico total do solo (Corg), a vantagem de se medir também a BMS é decorrente de sua maior sensibilidade às mudanças iniciais no conteúdo de matéria orgânica do solo do que a determinação de Corg (JENKINSON & RAYNER, 1977; POWLSON et al., 1987). Uma relação simples de ser obtida é a relação do carbono da biomassa microbiana do solo com o carbono orgânico total do solo (BMSC/Corg), em geral expressa em porcentagem, que pode indicar alterações em ecossistemas com interferência antrópica sendo que quanto maior esta relação dentro de um mesmo solo, mais intensa é a dinâmica da matéria orgânica (GARCIA et al., 1997).

Na agricultura, a necessidade de dispor de bioindicadores sensíveis a mudanças provocadas pelo manejo fitotécnico do solo possibilitou que índices biológicos surgissem como um mecanismo de avaliação que pudesse responder a tais questões, daí a busca por um indicador que espelhe a robustez da vida do solo e reflita o seu grau de perturbação (DE-POLLI

& GUERRA, 1996). Dentre alguns dos indicadores utilizados atualmente, destacam-se: biomassa microbiana do solo, respiração basal do solo e quociente metabólico (DE-POLLI & PIMENTEL, 2005).

O estudo da matéria orgânica em seus diversos compartimentos, bem como sua relação com o manejo fitotécnico, visa desenvolver estratégias para utilização sustentável dos solos, com vistas em reduzir o impacto das atividades agrícolas sobre o ambiente (SOUZA, 2002).

2.4 Caracterização do Problema

Os processos de degradação são, geralmente, causadores por alterações que influenciam o ciclo energético e biogeoquímico dos ecossistemas e a agregação do solo, onde microrganismos têm papel preponderante (SIQUEIRA et al., 1991).

O uso inadequado do solo aliado a práticas não conservacionistas permite que o carbono estocado no solo na forma orgânica e microbiana, assim como também na forma de biomassa vegetal, seja remobilizado para a atmosfera. BATJES (1998) indica três formas de mitigação da concentração de CO₂ pela agricultura: redução da emissão pelo melhor uso do solo; criação e fortalecimento das reservas de carbono no solo e substituição dos combustíveis fósseis por biocombustíveis.

Medidas da respiração do solo têm ganhado recentemente atenção maior, devido às trocas de CO₂ do solo com a atmosfera serem importantes nos estudos de mudança climática. As medidas de respiração do solo têm a característica de serem rapidamente responsivas a alterações no ambiente, porém devido à alta variabilidade espacial (STOYAN et al., 2000) e dificuldades de interpretação, tem sido menos usada para efeito de estudo quando relacionada com manejo. Porém quando relacionada à biomassa microbiana e ao tempo de incubação, denominando-se respiração específica ou quociente metabólico (índice qCO₂) (ANDERSON & DOMSCH, 1985, 1990), apresentando interpretação mais tangível com situações de manejo agrícola (qCO₂ = respiração/biomassa microbiana tempo⁻¹). Muitas dessas medidas objetivam a compreensão dos processos de formação e mineralização dos vários compartimentos da matéria orgânica do solo, possibilitando um melhor entendimento da sua dinâmica (ANDERSON, 1982; PARKINSON & COLEMAN, 1991).

A avaliação da qualidade do solo tem sido proposta em vários trabalhos como um indicador integrado da qualidade do ambiente e a forma mais adequada para acessar o impacto de práticas de manejo sobre a sustentabilidade da produção (KENNEDY, 1995). Para avaliar a qualidade do solo e da água, indicadores químicos, físicos e biológicos chaves devem ser identificados, monitorados e avaliados quanto à sua sensibilidade às mudanças e distúrbios causados pelo manejo. Portanto, tem sido considerado como um instrumento de avaliação que pode facilitar adaptações de decisões de manejo para a promoção de práticas de agricultura sustentável, onde a percepção do agricultor é fundamental quando se pretende desenvolver mecanismos que facilitem a tomada de decisão (ANDREWS et al., 2002, 2003).

O qCO₂ oferece uma possibilidade de interpretação atual do estado do uso de substrato pela biomassa microbiana e eventual prognóstico sobre o destino da conservação da matéria orgânica do solo. Este é um aspecto importante para o manejo conservacionista do solo, principalmente com a possibilidade de prognóstico.

É essencial que se disponha de parâmetros de sustentabilidade, e que esses parâmetros funcionem paralelamente como indicadores de avaliação, quantificando e indicando o grau de conservação de um dado sistema (DE-POLLI & PIMENTEL, 2005). Assim, o estudo da biomassa microbiana e a sua atividade podem servir como indicadores de qualidade do solo (DORAN & PARKIN, 1994; KAISER et al., 1995; DANIEL et al., 1999), auxiliando na avaliação e no estabelecimento de um novo equilíbrio biodinâmico do sistema, além de fornecer subsídios para o planejamento do uso da terra (D' ANDRÉA et al., 2002).

2.5 Variabilidade Espacial

De acordo com PLANT (2001) a variabilidade espacial pode ser influenciada por diferenças de topografia, características do solo, do lençol freático, microclima e práticas de manejo.

O conceito da geoestatística leva em consideração a localização geográfica e a dependência espacial. Esta tem suas bases teóricas em funções e variáveis aleatórias. Quando uma determinada propriedade varia de um local para outro com algum grau de organização ou continuidade, expresso pela dependência espacial, a estatística clássica deve ser abandonada e dar lugar a uma estatística relativamente nova: a geoestatística. Por estatística clássica entende-se aquela que utiliza parâmetros como média e desvio padrão para representar um fenômeno, e baseia-se na hipótese principal de que as variações de um local para outro são aleatórias. Desse modo, esses dois ramos da estatística têm validade de aplicação em condições perfeitamente distintas. Para se determinar qual das duas deve ser usada em cada caso, utiliza-se o semivariograma que expressa a dependência espacial entre as amostras (VIEIRA, 2000).

MATHERON (1963, 1971), desenvolveu uma teoria, a qual ele chamou de Teoria das Variáveis Regionalizadas e que contém os fundamentos da geoestatística. MATHERON (1963) define Variável Regionalizada como uma função espacial numérica, que varia de um local para outro, com uma continuidade aparente e cuja variação não pode ser representada por uma função matemática simples. Essa continuidade ou dependência espacial pode ser estimada pelo semivariograma. A geoestatística tem um método de interpolação chamado krigagem (nome dado por MATHERON (1963), em homenagem ao matemático sul-africano D. G. Krige), que 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. Essas duas características fazem da krigagem um interpolador ótimo (BURGESS & WEBSTER, 1980a). O semivariograma é uma ferramenta básica de krigagem que representa quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço. De acordo com o exposto acima, a Krigagem permite a estimativa de valores sem tendência para os locais onde estes não foram medidos.

O uso de procedimentos geoestatísticos baseado em técnicas de krigagem no ambiente de geoprocessamento engloba uma série de etapas, dentre elas: análise exploratória, geração e modelagem de semivariogramas, validação do modelo e interpolação de krigagem e tem como principal objetivo a análise em duas dimensões para dados espacialmente distribuídos, no que diz respeito à interpolação de superfícies geradas a partir de amostras georreferenciadas obtidas por amostragem (VIEIRA, 2000).

Pelo fato de uma função aleatória ser contínua, pode ser submetida a uma grande gama de hipóteses, sem as quais a dedução de equações é impossível. O que se deve esperar é que com pontos discretos de amostragem, se possa satisfazer as hipóteses às quais as funções aleatórias estão sujeitas. Para se estimar valores para os locais não amostrados, ter-se-á que introduzir a restrição de que a variável regionalizada seja, necessariamente, estacionária estatisticamente. Formalmente, uma variável regionalizada é estacionária se os momentos estatísticos da variável aleatória $Z(x_i+h)$ forem os mesmos para qualquer vetor h . De acordo com o número k de momentos estatísticos que são constantes, a variável é chamada de estacionária de ordem k . Estacionariedade de ordem 2 é tudo que é requerido em geoestatística (OLEA, 1975).

A estacionariedade de ordem 1 (média) e ordem 2 (variância e covariância), são hipóteses que consideram que numa amostragem de 100 pontos retirados de uma população de 1000 pontos, a média e variância da população são as mesmas para a amostragem.

A existência de estacionariedade dá oportunidade de repetir um experimento mesmo que as amostras sejam coletadas em pontos diferentes, porque todas são consideradas pertencentes a populações com os mesmos momentos estatísticos (VIEIRA, 2000).

Portanto, se a hipótese de estacionariedade de ordem 2 puder ser satisfeita, a covariância $C(h)$ e o variograma $(2\gamma h)$ são ferramentas equivalentes para caracterizar a dependência espacial. O variograma tem papel crucial, pois ele é chave para descrever e entender a variabilidade espacial de forma quantitativa, bem como fazer previsões a respeito do fenômeno estudado. O variograma é uma função matemática definida para representar o nível de dependência espacial entre duas variáveis aleatórias locais. Estas duas variáveis X e Y podem ser: o mesmo atributo em duas posições diferentes (autovariograma), dois atributos diferentes medidos na mesma posição (covariância das variáveis) e dois atributos diferentes medidos em duas posições (variograma cruzado). O (γh) é a metade do variograma. Portanto (γh) é chamado como semivariograma sob a hipótese de estacionariedade de segunda ordem. Em resumo, a covariância e o semivariograma são as formas de alternativas de caracterizar a autocorrelação dos pares $Z(x)$ e $Z(x + h)$ separados pelo vetor h . As hipóteses de estacionariedade e a média constante levam a postular um comportamento idealizado para o semivariograma experimental, mostrado na Figura 2. Os parâmetros do semivariograma, incluindo alcance (a), patamar (C) e efeito pepita (C_0), podem ser observados na figura 2. Espera-se que observações mais próximas geograficamente tenham um comportamento mais semelhante entre si do que aquelas separadas por maiores distâncias. Assim, o valor absoluto da diferença entre duas amostras $z(x)$ e $z(x + h)$ deveria crescer à medida que aumenta a distância entre elas, até um valor em que os efeitos locais não tenham mais influência (MCBRATNEY & WEBSTER, 1986).

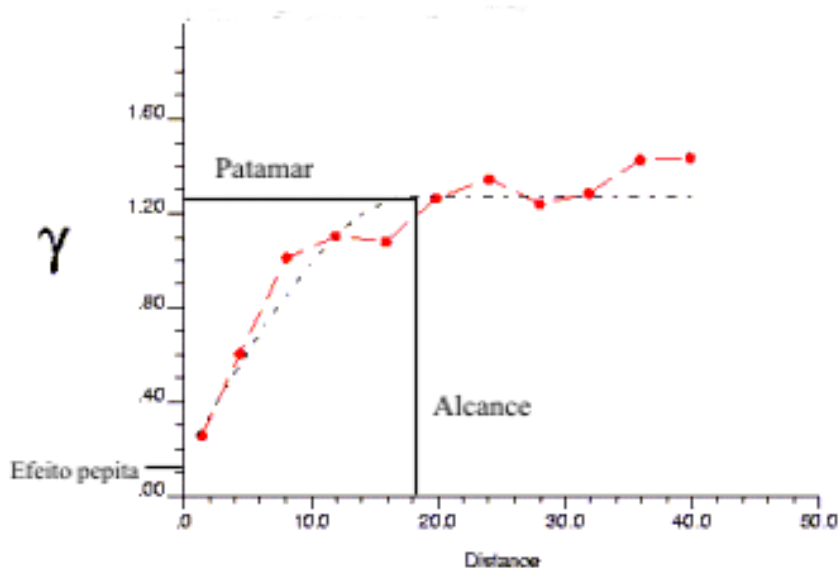


Figura 2: Parâmetros do semivariograma: alcance (a), patamar (C), efeito pepita (C_0). Fonte: (CAMARGO et al., 2005).

Alcance (a): a distância ao qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente.

Patamar (C): o valor do semivariograma correspondente a seu alcance (a). Deste ponto em diante, a variância da diferença entre pares de amostras torna-se aproximadamente constante.

Efeito pepita (C_0): no caso ideal, (C_0) é igual a zero. Na prática, à medida que h tende para zero, (γh) aproxima-se de um valor positivo chamado efeito pepita (C_0), que revela a

descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a distância entre as amostras. O efeito pepita é o valor da semivariância para a distância zero. Parte desta descontinuidade pode ser também por erros de medição, sendo impossível quantificar se a maior contribuição provém dos erros de medição ou da variabilidade de pequena escala não captada pela amostragem (CAMARGO et al., 2005).

O que diferencia a krigagem de outros métodos de interpolação é a estimação de uma matriz de covariância espacial que determina os pesos atribuídos às diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e o erro associado ao valor estimado. Além disso, a krigagem também fornece estimadores exatos com propriedades de não tendenciosidade e eficiência e introduz o uso de médias móveis para evitar a superestimação sistemática.

A variabilidade espacial de propriedades de solo em sistemas agrícolas foi discutida por diversos autores (DEL COURT et al., 1996; LOPEZ-GRANADOS et al., 2002; ROVER et al., 1999; YANAI et al., 2000, 2003).

A variabilidade espacial e temporal de propriedades microbianas do solo pode ser alta e isto tem que ser considerado ao selecionar os indicadores que avaliam a saúde do solo (SINGER et al., 2000). Em geral, atributos de solo que estão sujeitos a variação temporal (atividade microbiana, umidade e nutrientes solúveis do solo), são frequentemente sujeitos a uma variabilidade espacial alta (HALVORSON et al., 1997). Esta variabilidade frequentemente limita nossa habilidade para quantificar populações microbianas com precisão. A variabilidade espacial de processos microbianos difere com a escala espacial (PARKIN, 1993). Variáveis fundamentais a escala regional são fatores climáticos, padrões de uso da terra, vegetação e características da superfície do solo. Ao nível de paisagem, elas são tipo de solo, topografia e distribuição de água na superfície do solo. Outros contribuintes para a variabilidade espacial de propriedades microbianas do solo são rizosfera, aplicação de fertilizantes e praguicidas, além de outras práticas agrícolas. Propriedades de solo como conteúdo de matéria orgânica e pH explicaram 56% da estrutura do padrão de variabilidade espacial de processos microbianos responsáveis pelo fluxo de N_2O (YANAI et al., 2003). SEBAI et al. (2007) revelaram através da geoestatística que o mapa da distribuição da taxa de mineralização do isopropano era semelhante ao de pH, biomassa microbiana e nitrogênio orgânico.

Estudos de variabilidade espacial e temporal de indicadores microbianos podem ajudar a estabelecer estratégias de amostragem mais apropriadas (NIELSEN & WINDING, 2002).

2.6 Análise de Componentes Principais (ACP)

Os modelos estatísticos clássicos tornam-se menos sensíveis em sistemas biológicos, em razão das particularidades próprias de cada manejo, e não consideram o efeito conjunto de inúmeros fatores e características para promover as respostas ao manejo. A análise estatística multivariada, entretanto, permite detectar e descrever padrões estruturais, espaciais e temporais nas comunidades biológicas, e formular hipóteses baseadas nos numerosos fatores bióticos e abióticos que interferem sobre tais características (VALENTIN, 2000). Na atualidade, é mais utilizada para a síntese de dados ambientais, ou seja, na ordenação de sítios a partir de variáveis ambientais (KENT & COKER, 1992).

A análise de componentes principais é uma técnica estatística multivariada que pode ser utilizada para redução do número de variáveis e para fornecer uma visão estatisticamente privilegiada do conjunto de dados. A análise de componentes principais fornece as ferramentas adequadas para identificar as variáveis mais importantes no espaço das componentes principais.

Esta análise consiste em reescrever as variáveis originais em novas variáveis denominadas componentes principais, através de uma transformação de coordenadas. A transformação de coordenadas é um processo trivial quando feito usando matrizes. Os componentes principais são as novas variáveis geradas através de uma transformação

matemática especial realizada sobre as variáveis originais. Esta operação matemática está disponível em diversos softwares estatísticos especializados. Cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais. Por exemplo, um sistema com oito variáveis, após a transformação, terá oito componentes principais. Cada uma destas componentes principais, por sua vez, será escrita como uma combinação linear das oito variáveis originais. Nestas combinações, cada variável terá uma importância ou peso diferente (MOITA NETO, 2004).

Duas são as características das componentes principais que as tornam mais efetivas que as variáveis originais para a análise do conjunto das amostras (PRADO et al., 2002). As variáveis podem guardar entre si correlações que são suprimidas nas componentes principais. Ou seja, as componentes principais são ortogonais entre si. Deste modo, cada componente principal traz uma informação estatística diferente das outras. A segunda característica importante é decorrente do processo matemático-estatístico de geração de cada componente que maximiza a informação estatística para cada uma das coordenadas que estão sendo criadas. As variáveis originais têm a mesma importância estatística, enquanto que as componentes principais têm importância estatística decrescente. Ou seja, as primeiras componentes principais são tão mais importantes que podemos até desprezar as demais. Destas características podemos compreender como a análise de componentes principais funciona:

a) podem ser analisadas separadamente devido à ortogonalidade, servindo para interpretar o peso das variáveis originais na combinação das componentes principais mais importantes.

b) podem servir para visualizar o conjunto da amostra apenas pelo gráfico das duas primeiras componentes principais, que detêm maior parte da informação estatística.

A análise multivariada torna-se eficaz em estudos microbiológicos quando se pretende identificar os atributos que servem para separar áreas de estudo, por inexistência de similaridade. Isto permite ainda a eliminação do tempo usado com atributos que expressam baixa resposta (CRUZ-CASTILLO et al., 1994).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Amostragem e Histórico da Área de Estudo

O estudo da biomassa microbiana (BMS) e constituintes lábeis da matéria orgânica do solo (MOS) foi realizado em Planossolo Háplico no campo experimental da Embrapa Agrobiologia/Sistema Integrado de Produção Agroecológica-SIPA, denominado “Fazendinha Agroecológica km 47” (Figura 3). O SIPA representa um espaço destinado ao exercício da agroecologia, localizado em Seropédica, Estado do Rio de Janeiro, em área de 59 ha, e está situado na latitude 22° 45’S, longitude 43° 41’W Grw. e altitude de 33 metros, sendo o clima classificado na classificação de Köppen como do tipo Aw (NEVES et al., 2005). O SIPA é conduzido em parceria oficializada entre a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), através do Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia e do Centro Nacional de Pesquisa de Solos, a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRuralRJ) e a Empresa de Pesquisa Agropecuária do estado do Rio de Janeiro (Pesagro) (ALMEIDA et al., 1999). Este sistema de produção representa um espaço destinado ao exercício da agroecologia, com um histórico de 15 anos desenvolvendo experimentos que visam à manutenção da MOS.

Os usos de solo avaliados foram o cultivo em aléias, pastagem e horto florestal. O cultivo em aléias é composto por linhas de Gliricídias (*Gliricidia sepium*), espaçadas de aproximadamente 6 metros, onde nas entre-linhas, até 2004, eram cultivadas hortaliças (alface, chicória, cebolinha, espinafre, rabanete, gengibre e taioba), milho, feijão e gengibre. A partir de 2005, as entre-linhas passaram a ser cultivadas com flores tropicais (heliconiáceas, musáceas e zingiberáceas) e pimenta do reino. O manejo no cultivo em aléias inclui rotação e diversidade de culturas de interesse econômico, aporte diferenciado de adubos orgânicos (material de poda e aplicação de compostos orgânico) e sistema de irrigação (Figura 4). A área de pastagem, implantada em 1997, foi formada exclusivamente pela grama Transvala (*Digitaria decumbens* Stent cv Transvala) (Figura 5). O Horto Florestal foi formado em 1950 com espécies com Acácia-mimosa, Cassia-fístula, Angico Vermelho, Acácia-jurema, palmeira de passeio e sabiá (Figura 6).

Para o estudo da variabilidade espacial, em cada área, instalou-se grades regulares de 100 m² (10x10m). Cada grade foi composta por 25 pontos georreferenciados no sistema UTM com precisão sub métrica (DGPS – modelo Trimble-Pro XT). Em cada ponto, com espaçamento de 2,5 m, foram coletadas amostras deformadas na profundidade de 0-10 cm (Figura 7). Em cada amostra, determinou-se os seguintes constituintes lábeis da MOS: fração leve livre, formas de C e N solúveis em água e teor de glomalina. Determinou-se também as frações granulométricas (areia, silte, argila), o pH em água, bem como os atributos químicos (Corg, Ntot, Ca, Mg, Al, CTC, P e K). O carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, a respiração e o quociente metabólico do solo, por serem atributos que exigem maior logística de laboratório, foram determinados em apenas 15 dos 25 pontos de cada grade.

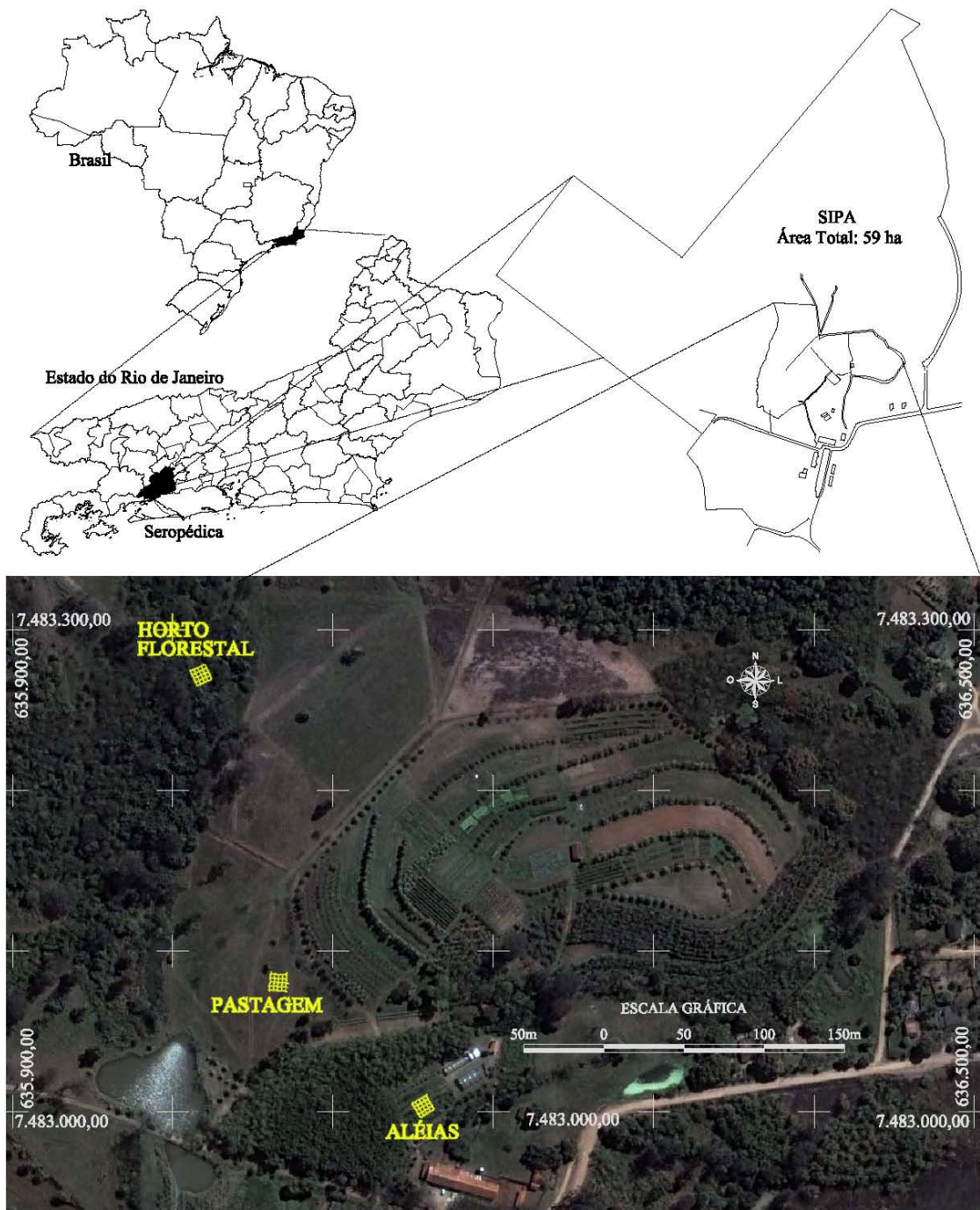


Figura 3: Área estudada (SIPA)



Figura 4: Área de cultivo em aléias.



Figura 5: Área de pastagem.



Figura 6: Área de Horto florestal.

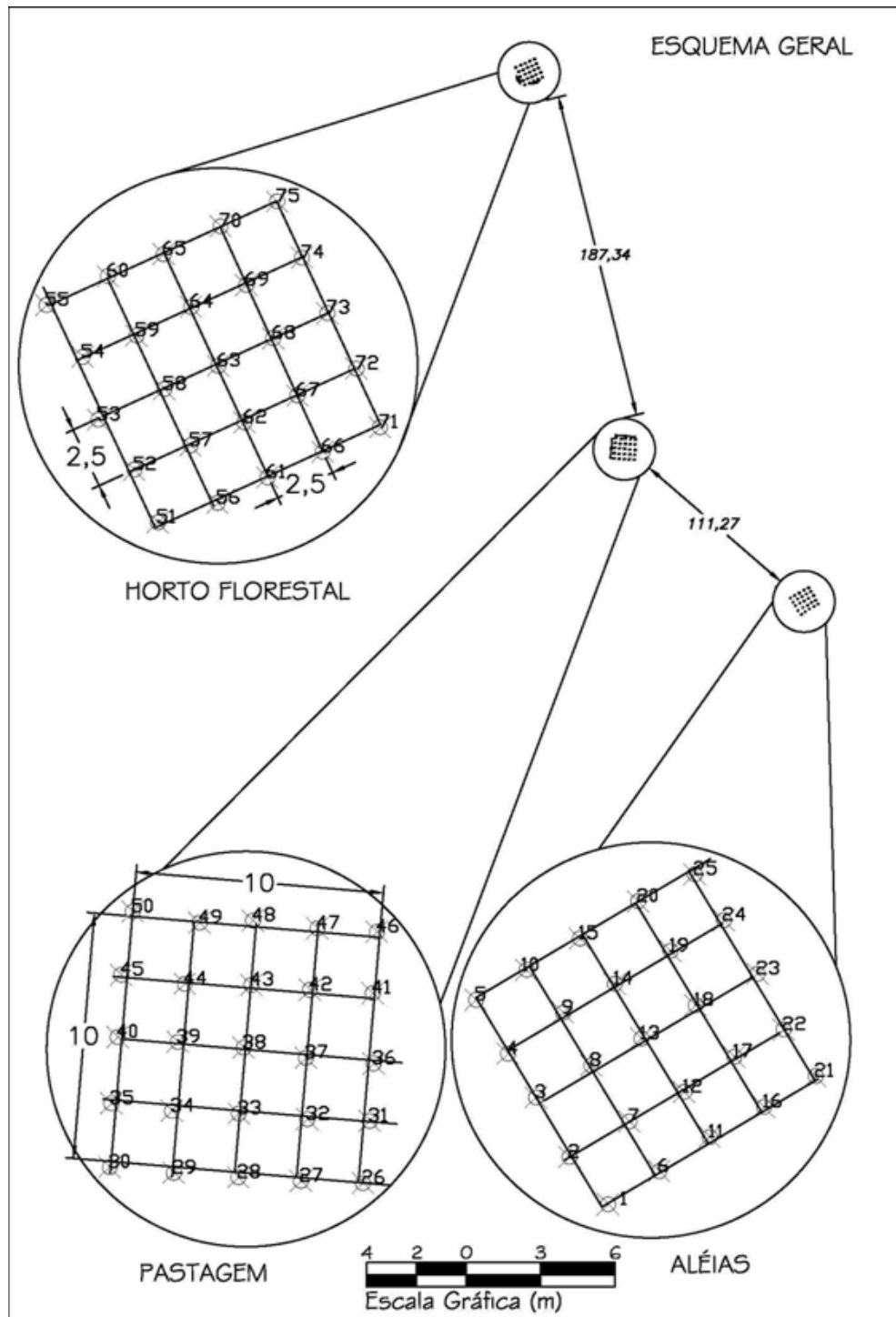


Figura 7: Grade regular de amostragem

Além das coletas em grades nos três locais citados anteriormente, foram coletadas cinco repetições de terra na profundidade de 0-10 cm em área caracterizada por uma pastagem pouco vigorosa de grama *Transvala* (*Digitaria decumbens* Stent cv *Transvala*), apresentando solo exposto nos locais amostrados (Figura 8).

A análise de componentes principais foi realizada para identificar os atributos que mais contribuíram para a separação dos diferentes sistemas de manejo fitotécnico e cobertura vegetal por inexistência de similaridade (solo exposto, cultivo em aléias, pastagem e horto florestal).



Figura 8: Área de solo exposto.

Após a coleta, as amostras foram secas ao ar, destorroadas, homogeneizadas e passadas por peneira de 2,0 mm de malha (terra fina seca ao ar - TFSA) para posterior execução das análises químicas, físicas e biológicas.

3.2 Análises, Sistematização e Modelagem dos Dados pela Geoestatística.

Para o estudo da geoestatística foram utilizados diferentes sistemas de manejo fitotécnico (cultivo em aléias, pastagem e horto florestal).

Inicialmente foi feita a análise estatística descritiva para avaliação do padrão de distribuição de frequência dos dados, detecção de valores anômalos, bem como de correlação de Pearson, através do software XLSTAT 7.5 (ADINSOFT, 2004).

Para a avaliação da dependência espacial utilizou-se o software GEOESTAT (Vieira et al., 1983). Esta etapa compreendeu o cálculo dos semivariogramas experimentais, validação cruzada (Jackknife) dos modelos ajustados e krigagem ordinária. A validação cruzada permitiu verificar se as hipóteses de estacionaridade estavam corretas e se o modelo ajustado foi adequado, além de determinar qual a vizinhança ideal para se fazerem estimativas.

Os mapas de variabilidade espacial da biomassa microbiana e dos constituintes lábeis da MOS foram gerados por krigagem ordinária e estes cobriram uma área equivalente a 100 m² com resolução 1m x 1m. O arquivo krigado gerado através do GEOESTAT foi exportado para o programa SURFER 7.02 (GOLDEN SOFTWARE, 2000) para melhor representação e visualização dos mapas de variabilidade dos atributos.

3.3 Análise Multivariada

Para o estudo da análise multivariada foram utilizados diferentes sistemas de manejo fitotécnico e cobertura vegetal (cultivo em aléias, pastagem, horto florestal e solo exposto).

Realizou-se a análise de componentes principais (ACP) utilizando-se os programas SAS 9.0 e Canoco (TER BRAAK & SMILAUER, 2002).

3.4 Nível de Equilíbrio do Manejo Fitotécnico (Nível de Eq)

Para o estabelecimento do nível de equilíbrio do manejo fitotécnico foi utilizado como estratégia um sistema de manejo em equilíbrio pedogênico com cobertura vegetal permanente (Horto florestal; Figura 6).

O nível de equilíbrio foi proposto com o intuito de avaliar o comportamento de atributos de biomassa microbiana e dos constituintes lábeis da matéria orgânica do solo (MOS) de acordo com a interpretação do pesquisador baseada no índice de equilíbrio (iEq) gerado a partir da média aritmética dos índices relativos de cada atributo de biomassa microbiana e dos constituintes lábeis da MOS.

Para o cálculo dos índices relativos dos atributos de biomassa microbiana e dos constituintes lábeis da MOS é necessário a escolha de um sistema de referência que se encontre em estado de equilíbrio pedogênico característico do tipo de solo em estudo. No presente trabalho o ambiente escolhido como referência foi um horto florestal. Os índices relativos dos atributos de biomassa microbiana e dos constituintes lábeis da MOS são calculados pela divisão dos valores dos atributos de biomassa microbiana e dos constituintes lábeis da MOS encontrados em cada área pelos valores encontrados na área de referência (Horto florestal).

Para o estabelecimento do nível de equilíbrio do manejo fitotécnico foram gerados os seguintes índices relativos dos atributos de biomassa microbiana e dos constituintes lábeis da MOS: iFLL, iCorg, iNtot, iBMSC, iBMSN, iClab, iNlab, iGT = índices relativos de fração leve livre da MOS, carbono orgânico, nitrogênio total, carbono da biomassa microbiana, nitrogênio da biomassa microbiana, carbono lábil, nitrogênio lábil e glomalina, respectivamente.

3.5 Análises da Biomassa Microbiana e dos constituintes lábeis da MOS

3.5.1 Biomassa Microbiana do Solo (BMS)

A biomassa microbiana do solo (BMSC; BMSN) foi determinada por meio do método da fumigação-extração, proposto por VANCE et al. (1987) e TATE et al. (1988). Foi quantificado o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana. Os procedimentos em laboratório seguiram o protocolo descrito por DE-POLLI & GUERRA (1999).

3.5.2 Biomassa Microbiana Plus do Solo (BMSp)

A biomassa microbiana “plus” do solo (BMSpC; BMSpN) é a fração do carbono e nitrogênio lábil extraível com K_2SO_4 0,5M após fumigação com clorofórmio sem a subtração controle das amostras não fumigadas como proposto por DE-POLLI et al. (2007), o que facilita a operação em laboratório com maior simplicidade de aplicação, reduzindo pela metade as práticas laboratoriais realizadas pelo método da fumigação-extração, economizando reagentes e consequentemente o custo da análise.

3.5.3 Respiração e quociente metabólico do solo

A atividade microbiana foi determinada com base na respiração basal do solo, mediante a quantificação da evolução de CO_2 por meio da metodologia proposta por JENKINSON & POWLSON (1976).

A atividade microbiana (respiração) quando relacionada à biomassa microbiana e ao tempo de incubação, denomina-se respiração específica ou quociente metabólico (índice qCO_2) (ANDERSON & DOMSCH, 1985, 1990).

3.5.4 Carbono e Nitrogênio Lábeis do Solo

O carbono e o nitrogênio lábeis do solo (carbono e nitrogênio solúveis em água; Clab e Nlab) foram determinados por meio do método de extração a quente em autoclave, segundo SPARLING et al. (1998) e BAKER, et al. (1998), utilizando-se 4g de TFSA, em recipiente de vidro de 100cm^3 , acrescentando-se 40ml de água destilada. Em seguida as amostras foram autoclavadas a 100°C (autoclave com pressão reduzida) por 1 hora. Após o resfriamento, a quantificação do carbono e nitrogênio foi determinada seguindo o método proposto por VANCE et al. (1987) e TATE et al. (1988) para biomassa microbiana, conforme descrito no item anterior.

3.5.5 Fração Leve Livre da Matéria Orgânica do Solo (FLL)

A fração leve livre da matéria orgânica foi obtida pelo procedimento proposto por SOHI et al. (2001). Esta fração foi extraída do solo por meio de uma solução de NaI a uma densidade de $1,80\text{ g cm}^{-3}$ ($\pm 0,02$), conforme sugerido por JANZEN et al. (1992).

Foram pesados 5 g de TFSA em frascos de centrifuga de 50 ml, sendo adicionados 35 ml de iodeto de sódio (NaI, $d = 1,80\text{ g cm}^{-3}$). Os frascos foram agitados manualmente por 30 segundos de maneira que as frações orgânicas menos densas ficassem na superfície da solução. A fração orgânica sobrenadante presente na solução (fração leve livre) foi succionada juntamente com a solução de NaI, e imediatamente, separada por filtração a vácuo (Sistema Asséptico Sterifil, 47 mm – Millipore) com filtros de fibra de vidro (47 mm de diâmetro; 2 microns – Whatman tipo GF/A), previamente pesados. A fração orgânica, juntamente com o filtro, foi, posteriormente, seca a 65° e pesada.

3.5.6 Biomolécula Glomalina

A quantificação de glomalina total (GT) será realizada segundo o ensaio de BRADFORD (1976), modificado por WRIGHT & UPADHYAYA (1998). Para a quantificação de GFE, serão utilizadas duas repetições de 1,0g de terra fina seca ao ar (TFSA). A proteína presente no sobrenadante será quantificada através do ensaio de BRADFORD, usando soroalbumina bovina como padrão (WRIGHT et al., 1996). O ensaio de Bradford consiste em uma maneira simples e confiável de avaliar as correlações entre a estabilidade do solo e práticas agrônomicas quando não é possível conduzir um ensaio de ELISA (WRIGHT & UPADHYAYA, 1998; WRIGHT et al., 1999).

3.6 Análises dos Atributos Físicos e Químicos do Solo

A análise granulométrica e a quantificação do Corg, Ca, Mg, P, K e Al foi realizada com terra fina seca ao ar (TFSA), segundo EMBRAPA (1997).

O nitrogênio total do solo foi determinado segundo BREMNER & MULVANEY (1982).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise Estatística Descritiva

Analisando os valores de média, apresentados na Tabela 1, o horto florestal apresenta os maiores valores de biomassa microbiana e dos constituintes lábeis da matéria orgânica do solo (MOS). A menor amplitude de temperatura e umidade, bem como o maior input de MOS, proporciona um ambiente mais favorável à atividade microbiana e ciclagem de nutrientes da MOS (BANDICK & DICK, 1999; BOPAIAH & SHETTI, 1991; ORCHARD & COOK, 1983).

O teor de carbono da biomassa microbiana do solo (BMSC) na área de pastagem é superior à área de cultivo em aléias. O inverso ocorre com o teor de nitrogênio da biomassa microbiana do solo (BMSN), com maiores valores para a área de cultivo em aléias. Este resultado influenciou a relação carbono e nitrogênio microbiano (C/Nmic), com menor relação encontrado na área de cultivo em aléias. Isto indica maior conservação de nitrogênio no sistema de cultivo em aléias através da incorporação deste elemento no tecido microbiano, podendo esta relação ser considerada um importante indicador de reserva e fonte de nitrogênio. A biomassa microbiana é a fração ativa da matéria orgânica no solo e determinante na dinâmica da matéria orgânica, atuando na mineralização ou na imobilização, aumentando ou reduzindo a disponibilidade de nutrientes para as plantas (DUDA, 2000). Apesar do processo de imobilização ser algumas vezes considerado negativo, em determinadas situações poderá ser favorável, visto ser um processo temporário e, portanto, consistindo em reservatório potencial de nutrientes para as plantas (PAUL & CLARK, 1996).

A relação carbono orgânico e nitrogênio total (C/N) foi maior na área de pastagem. Segundo HEAL et al. (1997), é característico deste tipo de vegetação, com conteúdo elevado de ligninas, polifenóis e estruturas mais rígidas, e conseqüentemente maior relação C/N. Devido a estas características da serrapilheira, onde a mineralização da MOS é dificultada, a área de pastagem apresentou maior quantidade de fração leve livre da MOS quando comparado ao cultivo em aléias. Com relação às frações mais lábeis (carbono lábil (Clab), nitrogênio lábil (Nlab) e glomalina total (GT)), estoque de MOS (Corg e Ntot) e CTC, o sistema de cultivo em aléias apresentou teores mais elevados. Como o histórico da área de cultivo em aléias é representado por lavrações, o qCO₂ manteve-se mais alto do que nas áreas de culturas perenes (pastagem e horto florestal). Apesar do sistema de cultivo em aléias ter um aporte elevado de MOS, refletindo positivamente no estoque e compartimento lábil da MOS, a eficiência do manejo quanto a conservação do solo pode ser questionada uma vez que o qCO₂ mais alto é indicativo de uma certa instabilidade no fluxo de carbono.

Do exposto acima, o horto florestal apresentou maior entrada (FLL), estoque (Corg, Ntot), CTC e constituintes lábeis de matéria orgânica do solo (BMSC, BMSN, Clab, Nlab e GT).

Nota-se que em média o teor de argila na área de cultivo em aléias e pastagem é muito similar (4 e 2%, respectivamente), diferenciando-se do horto florestal (13%). Cabe ressaltar que na área do horto florestal, esse maior valor de argila é fortemente influenciado pela ocorrência de atividade de térmitas, as quais trazem material mais argiloso das camadas subsuperficiais do solo para a superfície. Segundo MOREIRA & SIQUEIRA (2002) um maior acúmulo de biomassa microbiana é esperado em solos com maior teor de argila (retenção de água e nutriente, menor variação de temperatura).

Foi observado baixo valor em média de umidade gravimétrica (2 %) para a área de pastagem. Esse baixo teor é conseqüência da textura arenosa (baixa adsorção de água),

associado a um período de baixa precipitação (Tabela 1). Valores similares de umidade gravimétrica para esta mesma área de pastagem foram encontrados por VILLELA (2007).

De acordo com WEBSTER (2001), atributos que apresentam assimetria variando em torno de 0 a $\pm 0,5$ apresentam distribuição normal. Considerando esse critério, constata-se que o sistema de cultivo em aléias provavelmente apresenta maior número de atributos com distribuição mais próxima do normal (BMSC, BMSN, Clab, Nlab, Resp, qCO₂, GT e a CTC). Ainda analisando a tabela 1, constata-se que com exceção de areia nos três sistemas de manejo, e a CTC no cultivo em aléias, o coeficiente de variação (CV) apresentou-se médio ou alto (>10%) (PIMENTEL-GOMES, 1984). O maior CV para os atributos relacionados à biomassa microbiana e os componentes lábeis da MOS é esperado, uma vez que estes apresentam, em função de sua alta sensibilidade à variações edafoclimáticas, comportamento mais errático.

Na Tabela 2 são apresentados os coeficientes de correlação linear de Pearson (r), entre os atributos físicos e biomassa microbiana e de constituintes lábeis da MOS.

Tabela 1: Estatística descritiva de biomassa microbiana e constituintes lábeis da MOS, e atributos físicos do solo.

Aléias	Mínimo	Máximo	Média	Curtose	Assimetria	CV (%)	Erro padrão
BMSC *	36	93	61	-1,3	0,3	32	5,0
BMSN	24	47	35	0,2	0,2	17	1,6
C/Nmic	1	3	2	1,8	1,1	30	0,1
Carbono lábil (Clab)	438	712	571	0,4	-0,1	12	18,3
Nitrogênio lábil (Nlab)	61	98	83	-0,9	-0,4	14	3,1
Respiração (Resp)	0,3	0,8	0,5	0,0	0,3	28	0,0
qCO ₂	4	16	10	0,0	0,3	33	0,8
Carbono orgânico (Corg)	5,4	9,2	6,9	1,6	0,7	14	0,2
Nitrogênio total (Ntot)	0,8	1,8	1,1	0,6	1,1	28	0,1
C/N	3	10	6	0,4	0,4	28	0,5
Fração leve livre (FLL)	0,01	0,03	0,02	1,23	1,09	0,36	0,00
Argila total (ArgT)	15	69	27	2,9	1,5	56	0,6
Areia	22	177	67	1,6	-1,5	4	0,9
Glomalina (GT)	1,4	2,6	2,0	-1,2	0,0	20	0,1
CTC (T)	5,4	7,0	6,1	-1,0	0,4	8	0,1
Umidade gravimétrica (Ug)	6,9	10,8	8,6	-0,1	0,3	12	0,3
Pastagem	Mínimo	Máximo	Média	Curtose	Assimetria	CV (%)	Erro padrão
BMSC	54	176	102	-0,4	0,7	35	9,2
BMSN	23	39	29	-0,1	0,7	15	1,1
C/Nmic	2	5	4	-1,4	0,1	30	0,3
Carbono lábil (Clab)	337	512	412	0,0	0,3	12	12,5
Nitrogênio lábil (Nlab)	50	149	76	4,7	2,0	33	6,5
Respiração (Resp)	0,2	1,4	0,4	10,3	3,0	71	0,1
qCO ₂	2	8	4	-0,4	0,8	49	0,5
Carbono orgânico (Corg)	2,7	5,2	3,9	1,7	0,1	14	0,1
Nitrogênio total (Ntot)	0,3	1,0	0,5	1,9	1,4	39	0,0
C/N	4	13	9	-1,4	-0,2	33	0,8
Fração leve livre (FLL)	0,02	0,07	0,03	8,81	2,75	0,48	0,00
Argila total (ArgT)	1	3	2	-1,4	-0,4	46	0,2
Areia	92	95	94	-0,3	0,0	1	0,2
Glomalina (GT)	0,5	1,3	0,8	2,6	1,4	27	0,1
CTC (T)	3,1	5,4	4,1	-0,5	0,2	17	0,2
Umidade gravimétrica (Ug)	1,1	2,4	1,8	-1,0	-0,4	23	0,1
Horto florestal	Mínimo	Máximo	Média	Curtose	Assimetria	CV (%)	Erro padrão
BMSC	120	375	225	0,0	0,7	33	19,4
BMSN	34	63	47	0,4	0,5	16	2,0
C/Nmic	3	8	5	0,5	0,8	29	0,4
Carbono lábil (Clab)	614	2421	1202	2,8	1,4	38	117,8
Nitrogênio lábil (Nlab)	93	293	166	1,4	1,0	31	13,5
Respiração (Resp)	0,0	1,7	1,0	2,9	-0,8	38	0,1
qCO ₂	0	7	5	1,4	-0,9	39	0,5
Carbono orgânico (Corg)	8,5	19,2	12,0	1,6	1,2	23	0,7
Nitrogênio total (Ntot)	1,1	2,8	1,9	-0,9	0,2	27	0,1
C/N	5	10	7	2,7	1,5	19	0,3
Fração leve livre (FLL)	0,02	0,18	0,07	1,47	1,32	0,64	0,01
Argila total (ArgT)	8	24	13	-0,6	0,7	41	1,4
Areia	53	81	73	4,3	-1,6	9	1,8
Glomalina (GT)	2,2	5,1	3,6	-1,0	0,2	26	0,2
CTC (T)	7,6	15,3	10,8	1,1	0,6	18	0,5
Umidade gravimétrica (Ug)	6,7	18,3	11,6	-0,3	0,7	29	0,9

*/ Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (BMSC, BMSN), Clab e Nlab = mg C kg⁻¹ solo; CmicC, NmicN, ArgT, Areia, Ug= %; CTC= cmolc dm⁻³; Resp = mgC-CO₂ kg⁻¹ solo h⁻¹; qCO₂ = mg C-CO₂ g⁻¹BM h⁻¹; Corg, Ntot= g kg⁻¹; FLL= g g⁻¹; GT= mg g⁻¹.

Tabela 2: Coeficientes de correlação linear de Pearson (r) entre os atributos estudados.

Aléias	BMSC	BMSN	C/Nmic	Clab	Nlab	Resp	qCO ₂	Corg	Ntot	C/N	FLL	ArgT	Areia	GT	CTC	Ug
BMSC *	1,00															
BMSN	0,49	1,00														
C/Nmic	0,82	-0,09	1,00													
Clab	0,70	0,12	0,70	1,00												
Nlab	0,61	0,53	0,31	0,41	1,00											
Resp	0,44	-0,37	0,76	0,58	0,05	1,00										
qCO ₂	-0,61	-0,70	-0,26	-0,22	-0,35	0,29	1,00									
Corg	0,67	0,34	0,51	0,72	0,68	0,29	-0,41	1,00								
Ntot	-0,17	-0,13	-0,13	-0,03	0,02	0,06	0,28	-0,02	1,00							
C/N	0,45	0,29	0,33	0,32	0,33	0,03	-0,43	0,53	-0,82	1,00						
FLL	0,15	-0,02	0,17	0,28	0,01	0,15	-0,07	0,35	-0,34	0,58	1,00					
ArgT	0,47	0,15	0,40	0,62	0,30	0,24	-0,35	0,64	-0,19	0,50	0,68	1,00				
Areia	-0,44	-0,29	-0,26	-0,37	-0,46	-0,11	0,21	-0,46	-0,10	-0,16	-0,36	-0,63	1,00			
GT	0,56	0,20	0,51	0,77	0,30	0,54	-0,26	0,72	-0,03	0,28	0,18	0,59	-0,19	1,00		
CTC	0,33	-0,19	0,53	0,23	-0,06	0,19	-0,25	0,14	-0,70	0,69	0,50	0,22	-0,01	-0,04	1,00	
Ug	0,08	0,06	0,03	-0,04	-0,06	0,21	-0,04	-0,16	0,47	-0,55	-0,48	-0,06	-0,16	0,18	-0,59	1,00
Pastagem	BMSC	BMSN	C/Nmic	Clab	Nlab	Resp	qCO ₂	Corg	Ntot	C/N	FLL	ArgT	Areia	GT	CTC	Ug
BMSC	1,00															
BMSN	0,45	1,00														
C/Nmic	0,87	-0,02	1,00													
Clab	-0,02	0,30	-0,22	1,00												
Nlab	0,62	0,48	0,37	0,35	1,00											
Resp	0,52	0,61	0,22	0,46	0,71	1,00										
qCO ₂	-0,18	0,33	-0,42	0,31	0,28	0,69	1,00									
Corg	0,50	0,30	0,40	-0,10	0,54	0,11	-0,16	1,00								
Ntot	0,67	0,51	0,46	0,10	0,66	0,56	0,05	0,18	1,00							
C/N	-0,38	-0,27	-0,29	-0,01	-0,24	-0,29	0,08	0,25	-0,86	1,00						
FLL	0,50	0,56	0,20	0,57	0,76	0,90	0,57	0,23	0,53	-0,18	1,00					
ArgT	0,39	0,33	0,28	-0,04	0,10	0,34	0,11	0,12	0,22	-0,13	0,31	1,00				
Areia	0,20	-0,02	0,21	0,47	0,12	0,23	-0,07	-0,38	0,28	-0,43	0,23	-0,03	1,00			
GT	0,34	0,08	0,31	-0,25	0,40	-0,03	-0,13	0,67	0,31	-0,02	0,14	0,01	-0,13	1,00		
CTC	0,60	0,35	0,45	0,22	0,77	0,48	0,11	0,79	0,37	0,11	0,62	0,25	-0,14	0,48	1,00	
Ug	0,44	0,57	0,22	-0,17	0,33	0,55	0,39	0,47	0,37	-0,10	0,45	0,48	-0,45	0,13	0,42	1,00
Horto florestal	BMSC	BMSN	C/Nmic	Clab	Nlab	Resp	qCO ₂	Corg	Ntot	C/N	FLL	ArgT	Areia	GT	CTC	Ug
BMSC	1,00															
BMSN	0,51	1,00														
C/Nmic	0,85	-0,01	1,00													
Clab	0,26	0,55	0,05	1,00												
Nlab	0,44	0,69	0,15	0,82	1,00											
Resp	0,42	0,39	0,29	0,42	0,50	1,00										
qCO ₂	-0,41	-0,08	-0,40	0,05	0,06	0,63	1,00									
Corg	0,41	0,60	0,18	0,88	0,83	0,41	-0,07	1,00								
Ntot	0,55	0,55	0,36	0,62	0,64	0,31	-0,28	0,84	1,00							
C/N	-0,36	-0,14	-0,35	0,12	0,01	0,05	0,40	-0,06	-0,57	1,00						
FLL	0,14	0,49	-0,08	0,84	0,78	0,19	-0,04	0,79	0,53	0,16	1,00					
ArgT	0,54	0,63	0,28	0,48	0,74	0,41	-0,08	0,55	0,62	-0,36	0,38	1,00				
Areia	-0,45	-0,72	-0,14	-0,74	-0,90	-0,48	-0,03	-0,84	-0,70	0,09	-0,70	-0,87	1,00			
GT	0,23	0,40	0,07	0,73	0,67	0,31	0,03	0,80	0,53	0,25	0,80	0,12	-0,53	1,00		
CTC	0,47	0,69	0,20	0,80	0,79	0,27	-0,24	0,93	0,79	-0,09	0,76	0,64	-0,88	0,72	1,00	
Ug	0,85	0,62	0,64	0,46	0,72	0,54	-0,20	0,63	0,72	-0,37	0,33	0,84	-0,78	0,31	0,67	1,00

Valores em negrito são significativos no nível de 5%.

*/ BMSC, BMSN – carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo; C/Nmic – relação C/N microbiano; Clab, Nlab – carbono e nitrogênio lábil do solo; Resp – respiração; qCO₂ – quociente metabólico; Corg – carbono orgânico; Ntot – nitrogênio total; C/N – relação carbono orgânico/nitrogênio total; FLL – fração leve livre; GT – glomalina; ArgT – argila total; Ug – umidade gravimétrica.

Nos estudos de variabilidade espacial através de geoestatística, a detecção de correlação significativa entre os atributos é especialmente importante para aperfeiçoar a interpolação de atributos de determinação mais difícil (BMS e constituintes lábeis da amostra) a partir de outros mais fáceis (Carbono orgânico e granulometria), através da cokrigagem ordinária.

Através da tabela 2 nota-se que o Corg foi o atributo, relativamente fácil de medir, que mais se correlacionou significativamente com BMS e constituintes lábeis (BMSC, BMSN, Nlab, Clab FLL e GT), nos diferentes sistemas de manejo. Dentre os sistemas avaliados a pastagem é a que possui menor número de atributos da BMS e constituintes lábeis da MOS correlacionados com Corg e granulometria.

O Horto florestal apresentou maior número de variáveis de BMS e constituintes lábeis da MOS correlacionadas positivamente com o teor de argila (Tabela 2). Este comportamento é esperado, pois no horto florestal foram encontrados os maiores teores de argila associados à atividade de térmitas, implicando também em maiores valores de CTC do solo, superfície específica, BMS e constituintes lábeis da MOS. Embora existam correlações positivas entre argila e BMS e constituintes lábeis da MOS, deve-se ressaltar que o manejo e a cobertura vegetal do horto florestal também está favorecendo os teores mais elevados destes atributos. Segundo POWLSON et al. (1987), parte da variação observada na quantidade da biomassa microbiana está associada ao aporte de matéria orgânica ao solo.

Do exposto nas Tabelas 1 e 2, pode-se ter um entendimento sobre a variação dos atributos de biomassa microbiana e constituintes lábeis da MOS. As áreas com maior aporte de matéria orgânica apresentam maiores valores de BMS e de constituintes lábeis do MOS, bem como maior correlação desses atributos com Corg.

4.2 Análise de Variabilidade Espacial

Na Tabela 3 são apresentados os semivariogramas experimentais e respectivos modelos ajustados para os atributos estudados. Para a área com cultivo em aléias os atributos que apresentaram dependência espacial foram carbono orgânico (Corg), fração leve livre (FLL), nitrogênio da biomassa microbiana (BMSN) e respiração, sendo o modelo esférico ajustado para estas variáveis. Na área de pastagem somente Corg e C/N microbiano (C/Nmic) apresentaram dependência espacial sendo ajustados modelos gaussianos.

O valor teórico do alcance de 5,5m estimado pelo semivariograma para a BMSN na área de cultivo em aléias (Tabela 3), demonstra alta sensibilidade desta variável ao manejo aplicado, onde o espaçamento de 6m entre as linhas de Gliricídias, provavelmente, está influenciando o padrão de variabilidade espacial da BMSN. Isso ocorre, pois, a Gliricídia é uma espécie fixadora de nitrogênio, concentrando maior queda de folhas na área de abrangência da copa, gerando assim um gradiente de matéria orgânica e BMSN nas entrelinhas de cultivo.

Tabela 3: Valores teóricos estimados dos semivariogramas

Atributos	Modelo *	C ₀	C ₁	C ₀ /(C ₀ +C ₁)*100 (%)	Alcance (m)	r ²
Aléias						
Corg **	Esférico	0	0,69	0	13	0,79
FLL	Esférico	0,0000004	0,00005	0,79	7,9	0,91
BMSN	Esférico	0	35,5	0	5,5	0,47
Resp	Esférico	0,016	0,009	64	13,4	0,49
Pastagem						
Corg	Gaussiano	0,15	0,24	38,5	10,3	0,87
C/Nmic	Gaussiano	0,53	1,16	31,4	13,1	0,80
Horto Florestal						
ArgT	Esférico	0	11,79	0	5,2	0,88

*/ Modelos selecionados por validação cruzada (Jack-nife); C₀= efeito pepita; C₁= patamar.

**/ Corg= carbono orgânico; FLL= fração leve livre da MOS; BMSN= nitrogênio da biomassa microbiana do solo; Resp= respiração; C/Nmic= relação carbono nitrogênio da biomassa microbiana do solo; ArgT= argila total.

O horto florestal não apresentou dependência espacial para atributos de biomassa microbiana e constituintes lábeis da MOS. O padrão aleatório de variabilidade da BMS e constituintes lábeis na área de horto florestal se deve, provavelmente, à entrada também aleatória de matéria orgânica proveniente da vegetação bastante diversificada (diferentes espécies, porte e taxa de incremento de biomassa no solo) e implantada de acordo com uma grade irregularmente espaçada. Além disso, em função da cobertura proporcionada pela copa, ocorrem menores variações de temperatura e umidade, reduzindo o surgimento de locais sistematicamente diferentes em termos de umidade e temperatura, atributos estes que influenciam sensivelmente a BMS e a dinâmica da MOS. Esses resultados corroboram com HARGREAVES et al. (2003), que estudando a variabilidade espacial do carbono da biomassa microbiana em área de selva convertida para bosque depois de ser um campo cultivável, descobriram também que os resultados da análise de variograma não revelaram dependência espacial.

PAZ-GONZÁLEZ et al. (2000) encontraram menor efeito pepita das variáveis Corg e CTC em área sob cultivo agrícola com sistema de rotação tradicional de pastagem e culturas anuais do que em áreas sob vegetação natural, sugerindo que a área sob cultivo agrícola apresenta maior continuidade do semivariograma. O presente trabalho apresenta dados semelhantes aos encontrados por estes autores, sendo a área sob cultivo agrícola em aléias com maior número de variáveis de atributos de BMS e constituintes lábeis da MOS com dependência espacial e baixo efeito pepita, indicando que o manejo das aléias, provavelmente, está alterando o padrão de variabilidade espacial destes atributos (Figura 9). No entanto, a hipótese de indução de dependência espacial através de manejos diferenciados, como no sistema em aléias, não se aplica a todos atributos dos solos relacionados à matéria orgânica. O teor de glomalina (GT), por exemplo, não apresentou dependência espacial em nenhum dos manejos avaliados.

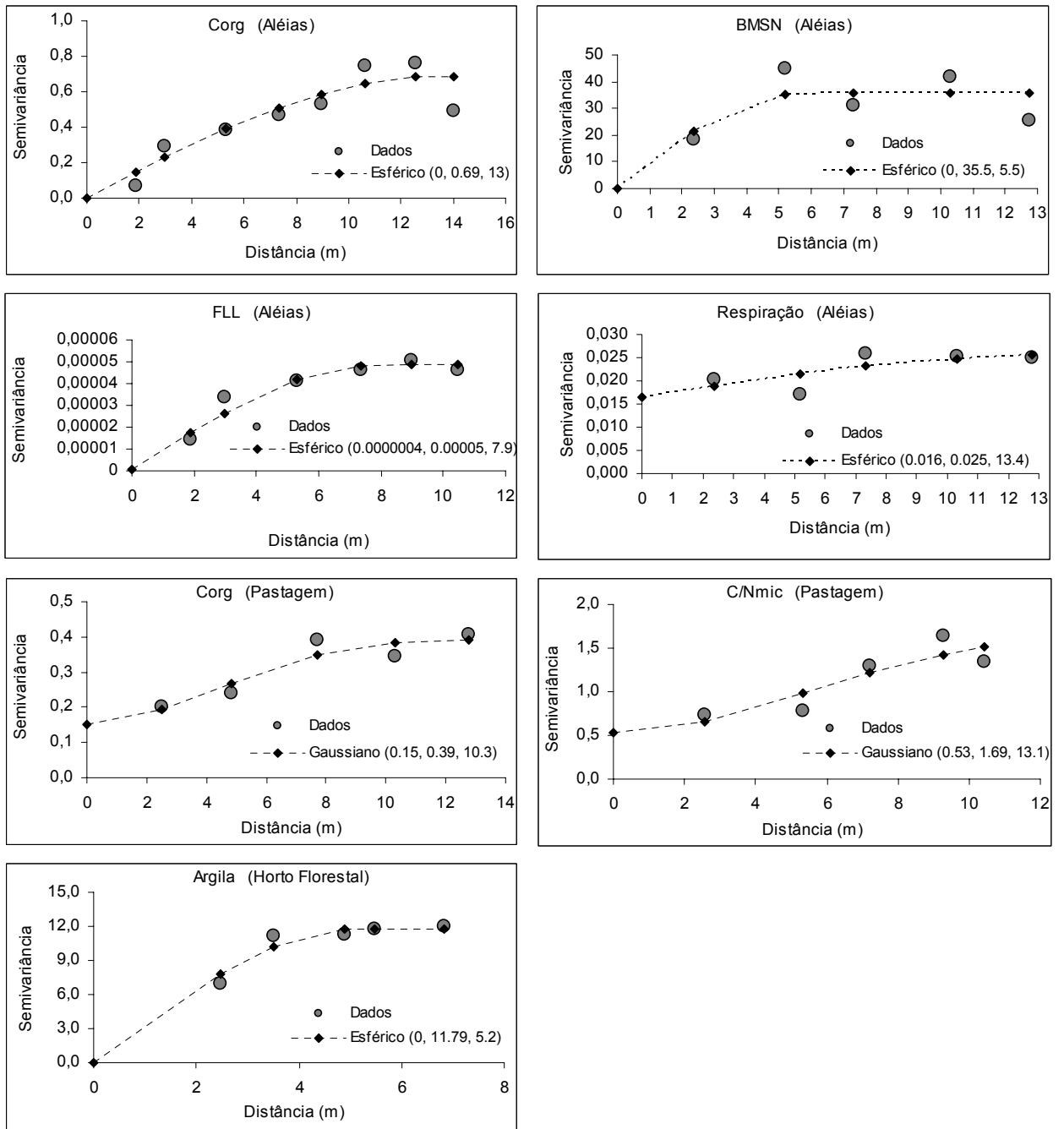


Figura 9: Semivariogramas de argila, Corg, biomassa microbiana e constituintes lábeis da MOS.

4.3 Variabilidade Espacial de Argila, Corg, Biomassa Microbiana e Constituintes Lábeis da MOS.

Os mapas de variabilidade espacial dos atributos Corg, respiração, FLL e BMSN na área de cultivo em aléias estão apresentados nas figuras 10a, 10b, 11a e 11b, respectivamente. Através de avaliação visual, é possível constatar a semelhança de comportamento entre Corg e BMSN e que a respiração tende a se comportar de forma inversa. Este padrão é mais facilmente detectado no canto superior direito dos referidos mapas, onde locais com maior atividades respiratórias pelos microrganismos apresentam menor Corg e BMSN. O padrão inverso indica que neste ponto da área do cultivo em aléias a eficiência da atividade microbiana do solo está baixa e que os microrganismos do solo estão sob algum fator de estresse, pois segundo AQUINO et al. (2005), uma biomassa microbiana eficiente libera menos carbono em forma de CO_2 pela respiração.

Com relação à FLL, não foi constatado, visualmente, um padrão de variabilidade sistemático com os demais.

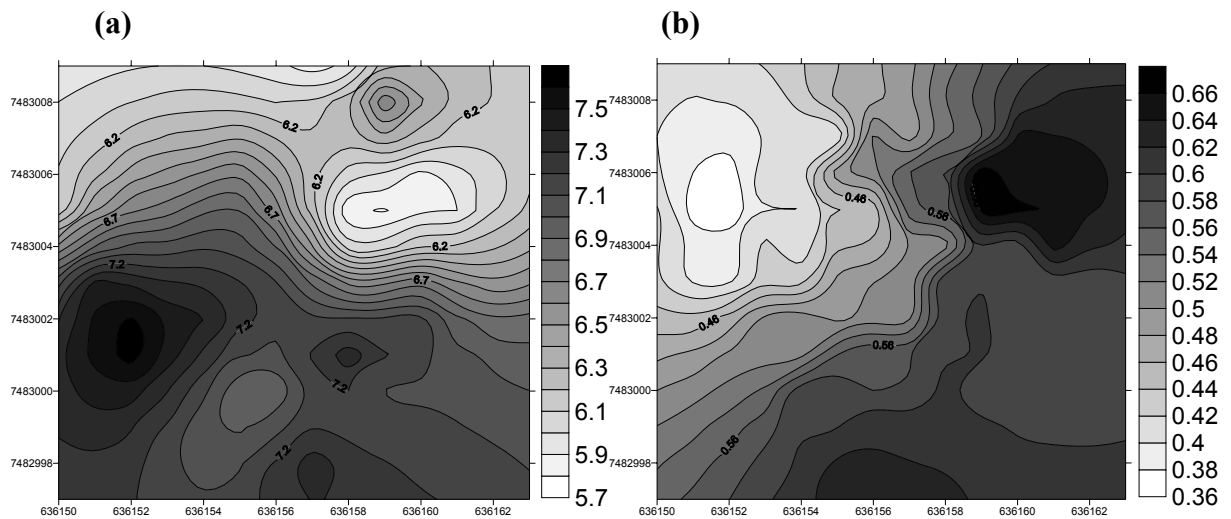


Figura 10: Variabilidade espacial do Corg g kg^{-1} (a) e respiração $\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ (b) no cultivo em aléias.

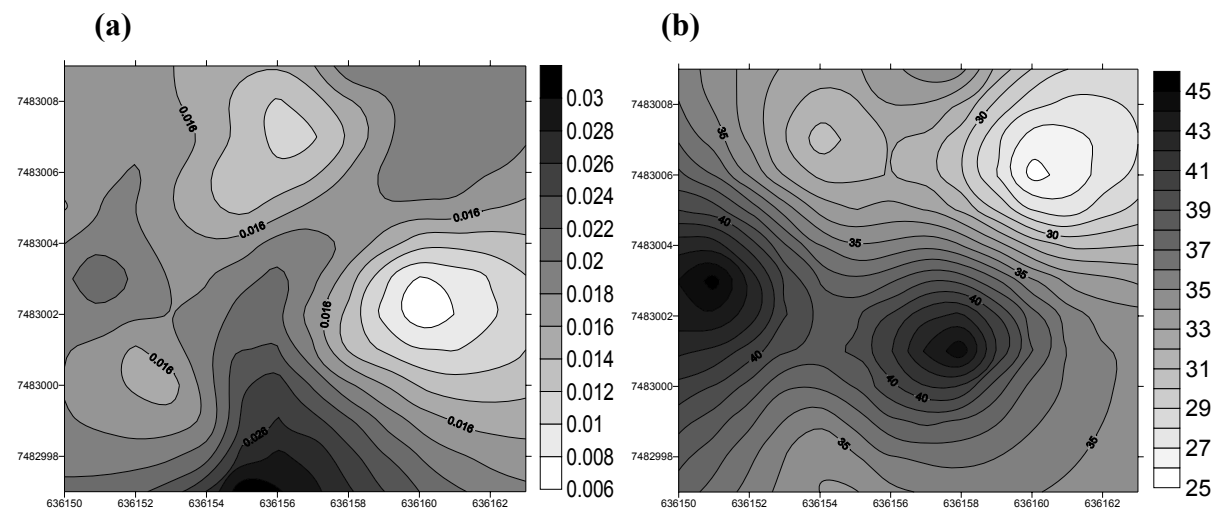


Figura 11: Variabilidade espacial da FLL g g^{-1} (a) e BMSN $\text{mg C kg}^{-1} \text{ solo}$ (b) no cultivo em aléias.

A detecção de regiões com comportamento diretamente e inversamente proporcional, como no caso de Corg e BMSN e desses com respiração, respectivamente, demonstra que a ferramenta geoestatística amplia a possibilidade de análise dos fenômenos em uma determinada área.

As figuras 12a e 12b referem-se aos mapas de C/Nmic e Corg, respectivamente, na área de pastagem. Constata-se um padrão similar de variabilidade espacial desses atributos, ou seja, áreas com maiores teores de Corg favorecem maior relação C/Nmic. Considerando que a pastagem foi implantada a aproximadamente duas décadas e que deste então não tem recebido aplicação diferenciada de manejo, provavelmente a causa do gradiente de carbono e C/Nmic esta associada à variação de cobertura do solo pelas gramíneas.

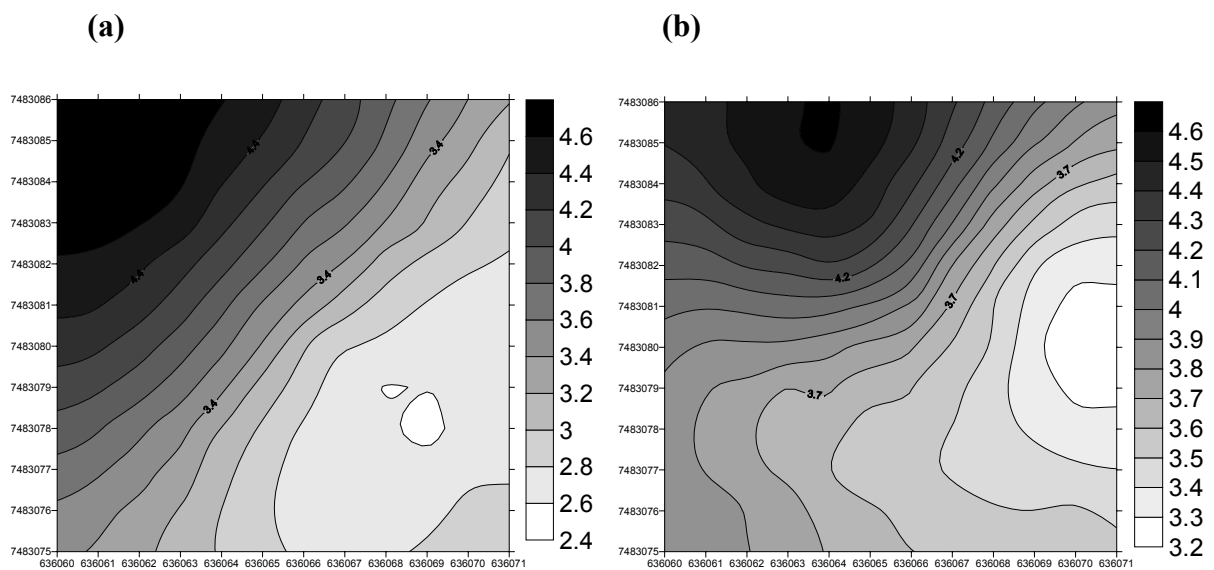


Figura 12: Variabilidade espacial da relação C/Nmic (a) e Corg g kg⁻¹(b) na pastagem.

Na área de horto florestal, o teor de argila apresentou dependência espacial provavelmente devido à presença de formigueiro e cupinzeiro com alta atividade de térmitas nos locais com elevados teores de argila do mapa de variabilidade espacial, onde estes organismos estão ocasionando uma faunopedoturbação (Figura 13). A atividade de térmitas tem uma grande influência no solo, mecanicamente, trazendo para cima partículas de solo de horizontes mais profundos, e bioquimicamente, pela formação, de agregados de matéria orgânica e argila, oferecendo estrutura ao solo (JONES, 1990; BLACK & OKWAKOL, 1997; LEE & WOOD, 1971).

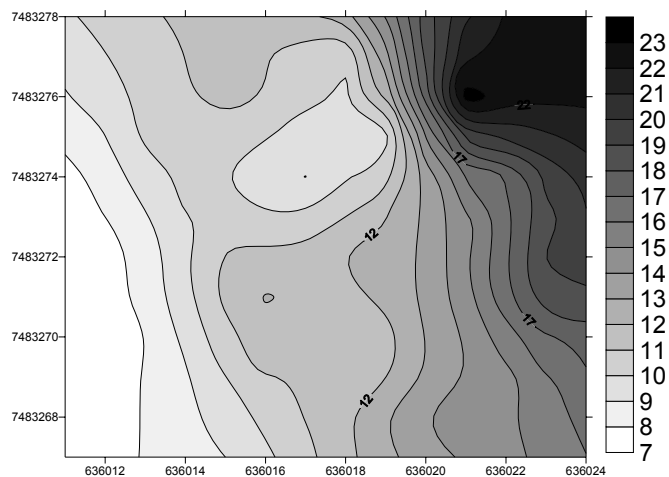


Figura 13: Variabilidade espacial da argila (%) no horto florestal.

A correlação linear de Pearson (Tabela 2) indica um aumento gradativo (pastagem, aléias e horto florestal) do número de variáveis com correlação significativa entre os atributos da MOS e o maior teor de argila nos diferentes sistemas de manejo. Este teor de argila mais alto pode controlar a taxa de turnover e o tempo de permanência do carbono.

Todos os indicadores estudados são influenciados pela textura, uma vez que a mesma tem relação direta com o teor de MOS, porém no presente estudo a dependência espacial do teor de argila não influenciou a dependência espacial dos atributos de biomassa microbiana e constituintes lábeis da MOS na área de horto florestal, demonstrando que não é o maior teor de argila que está favorecendo o maior teor de biomassa microbiana e constituintes lábeis da MOS, e sim o sistema de manejo e cobertura vegetal do solo adotado.

4.3 Análise Multivariada e Nível de Equilíbrio do Manejo Fitotécnico

A análise de componentes principais (ACP) está apresentada na Figura 14 e representa a distribuição espacial dos diferentes sistemas de manejo fitotécnico e cobertura vegetal.

A ACP permitiu reduzir o número de variáveis originais, destacando-se oito variáveis mais importantes para a separação dos diferentes sistemas de manejo fitotécnico e cobertura vegetal: CTC, pH, CmicC, NmicN, FLL, Corg, glomalina e BMSN (Tabela 4).

Os dois primeiros componentes principais foram responsáveis por cerca de 78% da variância do conjunto das 24 variáveis originais (Tabela 5).

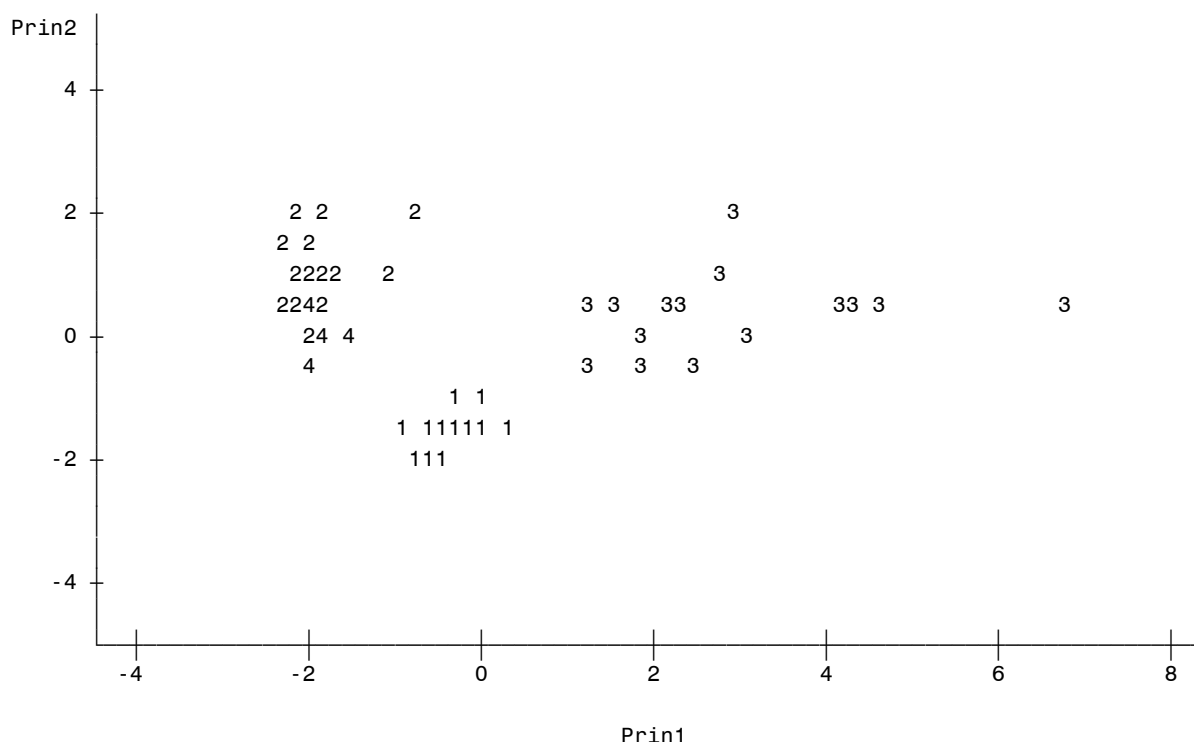


Figura 14: Distribuição espacial dos diferentes sistemas de manejo fitotécnico e cobertura vegetal (Prin1*Prin2).

1= cultivo em aléias; 2=pastagem; 3= horto florestal; 4= solo exposto.

Analisando a Figura 14, percebe-se o agrupamento da área de pastagem (2) com a área de solo exposto (4), situando-se o horto florestal mais distante dos demais sistemas de manejo.

A CTC e o pH apresentaram os maiores valores de significância e variância dos componentes principais, representando os principais atributos responsáveis pela separação dos diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal (Tabela 4; Tabela 5).

Tabela 4: Significância dos componentes principais

Componente principal	Atributo	r ²	Valor F	Pr > F
1	CTC	0,8567	91,64	< 0,0001
2	pH	0,7591	47,27	< 0,0001
3	CmicC *	0,5233	16,1	< 0,0001
4	NmicN	0,3751	8,6	0,0001
5	FLL	0,3016	6,05	0,0016
6	Corg	0,3645	7,84	0,0003
7	Glomalina	0,2857	5,33	0,0035
8	BMSN	0,1851	2,95	0,0444

*/ CmicC = relação carbono da biomassa microbiana/carbono orgânico; NmicN = relação nitrogênio da biomassa microbiana/nitrogênio total; FLL = fração leve livre; Corg = carbono orgânico; BMSN = nitrogênio da biomassa microbiana.

Tabela 5: Variância proporcional e acumulada dos componentes principais

Componente principal	Atributo	Proporcional	Acumulado
1	CTC	0,5977	0,5977
2	pH	0,1791	0,7769
3	CmicC *	0,0942	0,871
4	NmicN	0,0619	0,9329
5	FLL	0,0415	0,9744
6	Corg	0,0154	0,9898
7	Glomalina	0,0071	0,9969
8	BMSN	0,0031	1

*/ CmicC = relação carbono da biomassa microbiana/carbono orgânico; NmicN = relação nitrogênio da biomassa microbiana/nitrogênio total; FLL = fração leve livre; Corg = carbono orgânico; BMSN = nitrogênio da biomassa microbiana.

A relação das 24 variáveis originais com os diferentes sistemas de manejo fitotécnico e cobertura vegetal está representada na Figura 15, sendo a distribuição das variáveis originais argila total, areia, silte, pH, CTC, carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa microbiana e constituintes lábeis da matéria orgânica do solo (MOS) feita por setas e os diferentes sistemas de manejo fitotécnico e cobertura vegetal feito por pontos.

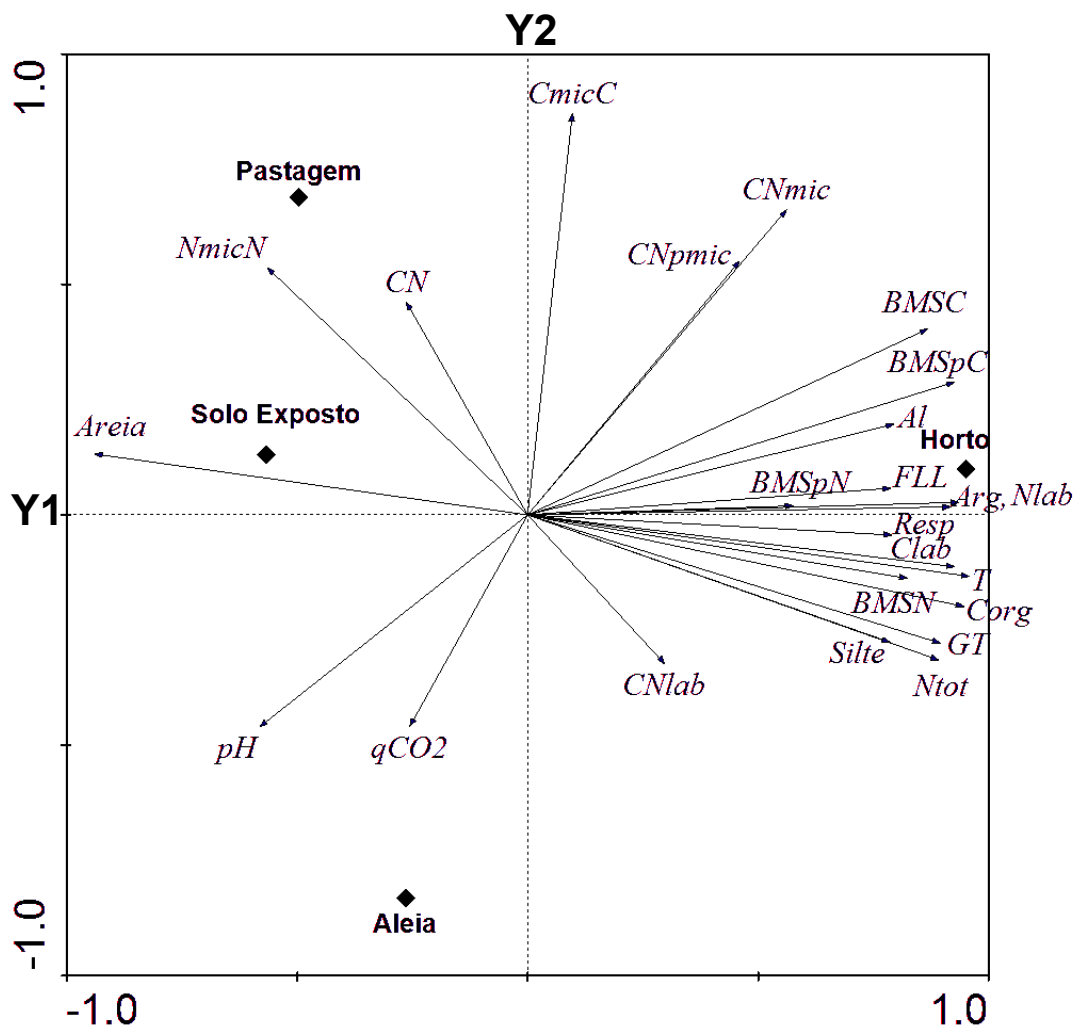


Figura 15: Análise de Componentes Principais (ACP) dos atributos químicos, físicos, biomassa microbiana e constituintes lábeis da MOS sob diferentes sistemas de manejo fitotécnico e cobertura vegetal.

*/ Alumínio (Al); CTC (T); carbono orgânico (Corg); nitrogênio total (Ntot); relação C/N (CN); Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (BMSC; BMSN) e da biomassa microbiana “plus” (BMSpC, BMSpN); BMSC/BMSN (CNmic); BMSpC/BMSpN (CNpmic); BMSC/Corg (CmicC); BMSN/Ntot (NmicN); carbono lábil (Clab); nitrogênio lábil (Nlab); C/N lábil (CNlab); respiração (resp); quociente metabólico (qCO_2); fração leve livre (FLL); glomalina (GT); argila total (ArgT).

Na Figura 15, nota-se, pela separação do primeiro eixo, referente ao componente Y1, que a área de horto florestal separou-se das áreas de pastagem e de solo exposto, situando-se a área de cultivo em aléias numa posição intermediária. Verifica-se também que o componente Y1 separou os atributos teor de areia, pH e qCO_2 dos demais atributos de BMS e constituintes lábeis da MOS. Este resultado indica que há um maior número de atributos de biomassa microbiana e constituintes lábeis da MOS com teores acima da média geral associados à área de horto florestal do que nas demais áreas.

O sistema utilizado na área de horto florestal com cobertura vegetal e incorporação de matéria orgânica do solo, além do maior percentual de argila, contribui para uma alta CTC (T) e consequentemente maior retenção de nutrientes na forma lábil do sistema solo, elevando os teores de carbono e nitrogênio microbianos (Tabela 6; Tabela 7). Nestas condições, há um fornecimento constante de material orgânico susceptível à decomposição, permanecendo o solo

coberto, com menor variação e níveis mais adequados de temperatura e umidade, implicando em um maior acúmulo de carbono e nitrogênio pela biomassa microbiana. SKJEMSTAD & DALAL (1987), verificaram o acúmulo de fração leve favorecido em solos continuamente vegetados com elevado retorno da palhada, sendo exemplo deste comportamento os solos florestais e/ou os de pastagens permanentes.

Os valores acima da média geral da liberação de C-CO₂ (respiração) no horto florestal pode ser função da constante incorporação de resíduos, com acúmulo de matéria orgânica em frações lábeis, promovendo uma alta biomassa e atividade microbiana sobre este material (Tabela 6). Para CATTELAN & VIDOR (1990) o maior teor de biomassa microbiana encontra-se positivamente relacionado com a liberação de CO₂, com a população fúngica e de actinomicetos, e que a matéria orgânica, umidade e a fertilidade são os parâmetros que mais estimulam a biomassa microbiana do solo. Esses autores relatam que maiores teores de biomassa microbiana são encontrados em campos nativos, quando comparados com solo exposto, possivelmente essa característica esteja relacionada com a maior adição de MOS.

A Tabela 6 mostra que os resultados obtidos de carbono da biomassa microbiana para o Planossolo unidade Ecologia (Seropédica, RJ) são condizentes com os teores de BMSC encontrados em outros trabalhos realizados nesta mesma área (GONÇALVES et al., 2002; RODRIGUES et al., 1994). A relação NmicN variou de 2,66 a 6,49% entre os manejos avaliados. Estes valores estão de acordo com os valores de JENKINSON (1988) e FAUCI & DICK (1994), que variaram de 1 a 7%.

Tabela 6: Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (BMSC, BMSN) e biomassa microbiana “plus” (BMSpC; BMSpN), carbono e nitrogênio lábil (Clab, Nlab), BMSC/BMSN (C/Nmic), Clab/Nlab (C/Nlab), BMSC/Corg (CmicC); BMSN/Ntot (NmicN), respiração e quociente metabólico (qCO₂) sob diferentes sistemas de cobertura vegetal do solo

Cobertura vegetal	BMSC*	BMSN	BMSpC	BMSpN	Clab	Nlab	C/Nmic	C/Nlab	CmicC	NmicN	Resp	qCO ₂
Aléias	60,5	35,5	158,6	64,4	571,4	83,1	2	7	0,87	3,32	0,54	10
Pastagem	101,9	28,9	184,7	61,7	411,6	75,7	4	6	2,59	6,49	0,41	4
Horto florestal	224,7	47,2	342,1	86,4	1201,7	166,2	5	7	1,89	2,66	0,99	5
Solo exposto	52,2	16,9	137,7	40,9	278,9	56,1	3	5	1,46	3,90	0,26	15
Média geral	109,8	32,1	205,8	63,4	615,9	95,3	3,4	6,4	1,7	4,1	0,5	8,3

*/ BMSC, BMSN, BMSpC, BMSpN, Clab, Nlab = mg C kg⁻¹ solo; CmicC, NmicN = %; Resp = mgC-CO₂ kg⁻¹ solo h⁻¹; qCO₂ = mg C-CO₂ g⁻¹BM h⁻¹.

Pelo segundo eixo, referente ao componente Y2, é possível distinguir a área de pastagem da área de cultivo em aléias, situando-se o solo exposto numa posição intermediária (Figura 14). Pode-se inferir que a área de cultivo em aléias apresenta valores de pH e qCO₂ acima da média geral (Tabela 6; Tabela 7). O valor de pH acima da média geral é devido ao manejo com adubação e calagem do solo. Já o valor da relação CmicC encontrado no cultivo em aléias foi inferior ao da sua média geral (Tabela 6).

Segundo WARDLE (1994), em circunstâncias em que a biomassa microbiana (BMS) encontra-se sob algum fator de estresse, a capacidade de utilização do Corg é diminuída. Nesse caso, a relação CmicC diminui. Ao contrário, com a adição de matéria orgânica de qualidade ou com a mudança do fator limitante para uma condição favorável, a BMS pode aumentar rapidamente, mesmo se os teores de Corg permanecerem inalterados (POWLSON et al., 1987). Apesar da baixa relação CmicC encontrada na área de aléias, isto não quer dizer que esta esteja sob algum fator de estresse, pois um único indicador biológico não é capaz de inferir sobre a qualidade da matéria orgânica do solo, e sim o uso de vários indicadores permitirão inferir

sobre a qualidade e o destino da matéria orgânica do solo. Além disso, este sistema agroecológico pode estar caminhando para seu “estado de equilíbrio”. Durante o desenvolvimento do solo, essa relação, inicialmente, é submetida a mudanças rápidas e, com o passar do tempo, converge para um valor de equilíbrio (WARDLE, 1994). Se este valor for conhecido, a determinação dessa relação pode fornecer uma indicação sobre quando um solo está distante de seu “estado de equilíbrio”. Mesmo com baixa relação CmicC, o teor de carbono orgânico (Corg) na área de aléias mantêm-se em níveis equiparáveis à área de pastagem que apresenta alta relação CmicC (Tabela 6; Tabela 7). Nota-se, que a área de aléias apresentou nível médio de equilíbrio em função dos índices relativos aos atributos de biomassa microbiana e constituintes lábeis da MOS, Corg e Ntot. Apesar do sistema de cultivo em aléias ter apresentado nível médio de equilíbrio, a eficiência do manejo quanto a conservação do solo pode ser questionada uma vez que o qCO₂ mais alto é indicativo de uma certa instabilidade no fluxo de carbono (Tabela 8).

A área de pastagem apresentou valores acima da média geral da relação C/N, CmicC e NmicN, possivelmente, em consequência do baixo teor de nitrogênio total do solo, sugerindo que, a biomassa microbiana estaria representando um importante compartimento de reserva de nitrogênio (Tabela 6; Tabela 7). Segundo HEAL et al. (1997), é característico deste tipo de vegetação, conteúdo elevado de ligninas, polifenóis e estruturas mais rígidas, e consequentemente maior relação C/N. GAMA-RODRIGUES (1992), observou que a relação CmicC foi maior em solos com maiores teores de Ntot, não corroborando com os resultados encontrados no presente trabalho.

Tabela 7: Análise química do solo sob diferentes sistemas de cobertura vegetal

Cobertura vegetal	pH _{água}	Corgg kg ⁻¹	N	C/N	Ca	Mg	Al	T	P	K
	1:2,5			cmol _c dm ⁻³mg L ⁻¹	
Aléias	6,4	9,5	1,1	9	3,8	1,2	0,0	6,1	212,6	52,2
Pastagem	5,6	9,6	0,5	23	1,7	0,9	0,0	4,0	23,7	34,5
Horto florestal	4,6	17,8	2,1	9	3,3	1,7	0,5	11,1	13,2	49,8
Solo exposto	4,7	3,8	0,5	11	1,8	0,7	0,2	4,2	12,2	17,0
Média geral	5,3	10,2	1,0	13,0	2,7	1,1	0,2	6,4	65,4	38,4

Tabela 8: Nível de equilíbrio (Nível de Eq) e quociente metabólico (qCO₂) em função do manejo fitotécnico e cobertura vegetal do solo

Cobertura Vegetal	iFLL*	iCorg	iNtot	iBMSC	iBMSN	iClab	iNlab	iGT	iEq**	Nível de Eq***	qCO ₂
Aléias	0,27	0,53	0,52	0,27	0,75	0,48	0,50	0,55	0,5	Médio	10
Pastagem	0,35	0,54	0,24	0,45	0,61	0,35	0,46	0,21	0,4	Médio/Baixo	4
Solo exposto	0,28	0,21	0,24	0,23	0,36	0,23	0,34	0,14	0,3	Baixo	15
Horto florestal	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,0	Referência	5

*/ iFLL, iCorg, iNtot, iBMSC, iBMSN, iClab, iNlab, iGT, = índices relativos de fração leve livre da MOS, carbono orgânico, nitrogênio total, carbono da biomassa microbiana, nitrogênio da biomassa microbiana, carbono lábil, nitrogênio lábil e glomalina, respectivamente.

**/ iEq= índice de equilíbrio do solo sob diferentes sistemas de cobertura vegetal (média aritmética de todos índices relativos aos atributos avaliados).

***/ Nível de Eq= nível de equilíbrio (interpretação do pesquisador baseada no iEq).

A BMSC e BMSN apresenta correlação significativa com BMSpC e BMSpN, respectivamente. A correlação significativa entre estes atributos é especialmente útil, pois

comprova a relação entre estes, o que facilita a operação em laboratório com maior simplicidade de aplicação (sem a subtração controle das amostras não fumigadas), reduzindo pela metade as práticas laboratoriais realizadas pelo método da fumigação-extração.

Todos os atributos de biomassa microbiana e constituintes lábeis da MOS tiveram correlação negativa com o teor de areia e positiva com o teor de argila, com exceção do quociente metabólico (qCO_2) (Tabela 9). Segundo WARDLE (1992), a textura do solo pode influenciar a BMS, pois quando adicionam-se substratos orgânicos em solos com teores elevados de argila, há maior crescimento microbiano, possivelmente, devido a habilidade superior da argila em dificultar o turnover de produtos orgânicos, reter a BMS, adsorver nutrientes e reduzir a taxa de decomposição, funcionando como tampão para o pH e protegendo os microrganismos contra microherbívoros. PFENNING et al. (1992) relatam que uma maior quantidade de BMS é encontrada em solos com maior teor de argila.

Os teores de Corg e Ntot tiveram correlação significativa ($r = 0,90$), indicando que os efeitos dos sistemas de manejo do solo com maior ou menor adição de carbono têm efeito na disponibilidade do nitrogênio total no solo (Tabela 9).

Foi observada correlação positiva do nitrogênio total (Ntot) com o nitrogênio da biomassa microbiana (BMSN) e lábil do solo (Nlab), evidenciando a importância do aporte de nitrogênio no solo sobre os teores de BMS e constituintes lábeis da matéria orgânica do solo.

Com exceção do qCO_2 , a fração leve livre da matéria orgânica do solo correlacionou-se positivamente com todos os atributos avaliados, demonstrando a influência da entrada de MOS nas propriedades químicas e biológicas do solo. Todos os atributos de biomassa microbiana e constituintes lábeis da MOS apresentaram correlação positiva entre si (Tabela 9).

Tabela 9: Coeficientes de correlação linear de Pearson (r) entre os atributos estudados

	BMSC	BMSN	BMSpC	BMSpN	Clab	Nlab	Resp	qCO_2	Corg	Ntot	FLL	ArgT	Areia	GT	CTC	Ug
BMSC *	1,000															
BMSN	0,698	1,000														
BMSpC	0,973	0,763	1,000													
BMSpN	0,603	0,568	0,654	1,000												
Clab	0,708	0,777	0,794	0,449	1,000											
Nlab	0,794	0,806	0,860	0,594	0,901	1,000										
Resp	0,703	0,686	0,747	0,697	0,725	0,777	1,000									
qCO_2	-0,367	-0,338	-0,343	-0,140	-0,215	-0,230	-0,110	1,000								
Corg	0,735	0,846	0,805	0,481	0,933	0,883	0,728	-0,238	1,000							
Ntot	0,678	0,784	0,748	0,514	0,819	0,804	0,690	-0,128	0,902	1,000						
FLL	0,625	0,601	0,714	0,521	0,853	0,839	0,580	-0,201	0,742	0,612	1,000					
ArgT	0,777	0,754	0,834	0,449	0,818	0,854	0,702	-0,180	0,855	0,796	0,666	1,000				
Areia	-0,720	-0,764	-0,792	-0,409	-0,870	-0,860	-0,694	0,194	-0,919	-0,846	-0,709	-0,922	1,000			
GT	0,674	0,802	0,744	0,463	0,889	0,830	0,705	-0,181	0,961	0,861	0,718	0,771	-0,866	1,000		
CTC	0,774	0,794	0,846	0,513	0,904	0,878	0,709	-0,150	0,959	0,868	0,751	0,877	-0,933	0,924	1,000	
Ug	0,626	0,776	0,689	0,451	0,749	0,741	0,686	-0,028	0,867	0,894	0,479	0,822	-0,855	0,841	0,851	1,000

Valores em negrito são significativos no nível de 5%.

*/ Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (BMSC; BMSN) e da biomassa microbiana “plus” (BMSpC, BMSpN); carbono lábil (Clab); nitrogênio lábil (Nlab); respiração (Resp); quociente metabólico (qCO_2); carbono orgânico (Corg); nitrogênio total (Ntot); fração leve livre (FLL); argila total (ArgT); glomalina (GT); unidade gravimétrica (Ug).

Os teores de glomalina e FLL do horto florestal estão acima da média geral, e estes se encontram positivamente correlacionados com o teor de Corg (Tabela 9; Tabela 10). Isto mostra que ambos os atributos podem ser utilizados como indicadores de qualidade da MOS para solos tropicais, funcionando como um reservatório de MOS, auxiliando na predição se o sistema de manejo utilizado está sendo conservacionista ou não em termos de quantidade e/ou estoque de MOS.

Tabela 10: Fração leve livre da MOS (FLL), glomalina e textura do solo sob diferentes sistemas de cobertura vegetal

Cobertura vegetal	Argila Total%.....	Areia	Silte	FLL g kg ⁻¹	Glomalina mg g ⁻¹
Aléias	4,47	86,83	8,70	17,99	1,97
Pastagem	2,05	93,54	4,42	23,76	0,77
Horto florestal	12,99	72,68	14,33	67,32	3,59
Solo exposto	2,75	89,69	7,56	18,58	0,52
Média geral	5,56	85,69	8,75	31,91	1,71

O sistema de manejo com solo exposto proporcionou menor aporte de carbono e aumento nas taxas médias de mineralização da MOS, em função da constante exposição à luz solar e às altas temperaturas, com entrada de oxigênio e como consequência, a perda de carbono na forma de CO₂. Este sistema se encontra num nível tal, que há pouco substrato disponível para uso pela BMS promovendo desta forma uma baixa atividade microbiana. Isto demonstra a influência do manejo agrícola no compartimento lábil da MOS, alertando para a procura de sistemas agrícolas que expõem menos o solo e com práticas agrícolas menos intensivas, mantendo por um período mais longo a cobertura do solo, promovendo um ambiente mais favorável para os microrganismos e consequentemente, maior eficiência de conversão do Corg e Ntot para a BMS. BOYER & GROFFMAN (1996) relataram que quando ecossistemas de florestas são convertidos em áreas de cultivo, há declínio na quantidade de carbono orgânico total e lábil do solo.

Solos que mantêm alto conteúdo de BMS são capazes não somente de estocar mais nutrientes, mas também de ciclar mais nutrientes (STENBERG, 1999). O teor de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (BMSC; BMSN) encontram-se positivamente correlacionado com o Corg, Ntot e com o carbono e nitrogênio lábil do solo (Clab; Nlab) (Tabela 9). Dessa forma, os maiores teores de BMSC e BMSN favorecem os maiores teores de Clab e Nlab. A biomassa microbiana responde rapidamente à adição de C e N prontamente disponíveis (NORDGREN, 1992), sugerindo que a maioria dos componentes da microflora está limitada pelo C e pelo N (KNAPP et al., 1983; COCHRAN et al., 1988). GAMA-RODRIGUES (1997) encontrou correlação positiva do N da biomassa microbiana com o N mineral do solo. Nesse caso, a disponibilidade do N mineral é influenciada pela eficiência na ciclagem do N microbiano.

5 CONCLUSÕES

1. Alguns atributos da biomassa microbiana e constituintes lábeis da matéria orgânica do solo apresentaram dependência espacial, especificamente nas áreas com maior atividade antrópica, cultivo em aléias e pastagem. Considerando a relativa homogeneidade do solo e relevo das áreas analisadas, este resultado corrobora com hipótese de que o manejo seletivo do solo (fator extrínseco) induz a variabilidade espacial, no caso específico, atributos relacionados à matéria orgânica do solo.
2. A análise de componentes principais simplificou estruturalmente o conjunto de dados, sendo uma ferramenta útil no estudo do inter-relacionamento entre manejo e teores de matéria orgânica do solo, levando a identificação de padrões de agrupamento do conjunto de dados.
3. O quociente metabólico do solo (qCO_2) e os índices relativos dos atributos de biomassa microbiana e constituintes lábeis da matéria orgânica do solo foram sensíveis para a inferência sobre a interpretação atual do estado de uso de substrato pela biomassa microbiana do solo e eventual prognóstico sobre o destino da conservação da matéria orgânica do solo, demonstrando maiores perdas de carbono do sistema para as áreas com solo exposto.
4. A biomassa microbiana plus do solo (método alternativo) funcionou adequadamente quando comparado ao método original, oferecendo a vantagem da redução do número de amostras, simplificando as análises laboratoriais.
5. As diferentes formas de uso do solo apresentam alterações nos teores de carbono orgânico, biomassa microbiana e constituintes lábeis da matéria orgânica do solo.
6. Os índices relativos dos atributos de biomassa microbiana e constituintes lábeis da matéria orgânica do solo permitiram conhecer o nível de equilíbrio do solo dos diferentes sistemas de manejo fitotécnico.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A geoestatística permitiu conhecer como os atributos de biomassa microbiana e constituintes lábeis da matéria orgânica do solo variam dentro de cada manejo fitotécnico, enquanto que a análise multivariada permitiu comparar como estes atributos variam entre os manejos fitotécnicos, sendo estas ferramentas estatísticas complementares.

Para o estabelecimento de níveis críticos dos atributos de biomassa microbiana e constituintes lábeis da matéria orgânica do solo, é necessário maior monitoramento desses atributos.

Considerando que a determinação de atributos da biomassa microbiana (BMS) e constituintes lábeis da matéria orgânica do solo (MOS) são laboriosos e exigem intensa logística laboratorial, a grade amostral foi definida em função dessas limitações. A biomassa microbiana plus do solo (BMSp) pode ser utilizada para o estabelecimento de grades amostrais maiores, pois a sua praticidade laboratorial de determinação permite coletar maior número de amostras de solo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADINSOFT. 2004. **XLSTAT-PLS 1.8**. Statistical software to MS Excel.

ALMEIDA, D. L. de; RIBEIRO, R. L. D.; GUERRA, J. G. M. **Sistema de Produção Agroecológico (“Fazendinha” Agroecológica KM 47)**. Agricultura Ecológica. 2a Simpósio de Agricultura Orgânica e 1a Encontro de Agricultura Orgânica; Edmilson Ambrosano (coord.).- Guaíba: Agropecuária, 1999. 398p.

ALTIERI, M. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 3.ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2001.

ALVARENGA, M. I. N.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes usos. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v.23, p.617-625, 1999.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. **Biol. Fertil. Soil**, 1: 81-89, 1985.

ANDERSON, J. P. E. Soil respiration. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. eds. **Method of soil analysis**. 2.ed. Part 2. Madison, American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, 1982. p.831-871.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Application of eco-physiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biol. Biochem.**, 22:251-255, 1990.

ANDREWS, S. S.; KARLEN, D. L.; MITCHELL, J. P. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 90, n. 1, p. 25–45, 2002.

ANDREWS, S. S.; FLORA, C. B.; MITCHELL, J. P.; KARLEN, D. L. Growers’ perceptions and acceptance of soil quality indices. **Geoderma**, v. 114, n. 3, p. 187–213, Jun. 2003.

AQUINO, A. M.; SILVA, E. M. R.; SAGGIN JUNIOR, O.; RUMJANEK, N.; DE-POLLI, H.; REIS, V. M. A biota do solo e processos relevantes num novo contexto da agricultura. In: **Recomendações para adubação e manejo da fertilidade do solo no estado do Acre**. Rio Branco, 2005, v. prelo, cap.4.

ASSIS JUNIOR, S. L.; ZANUNCIO, J. C.; KASUYA, M. C. M.; COUTO, L.; MELIDO, R. C. N. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.1, 2003. p.35-41.

BAKER, A. D.; ZUBERER, D. A.; WILDING, L. P. **Inconsistence in methods for measuring bioavailable carbon and microbial biomass in soil from the NRCS wet soil monitoring project**, An International Workshop on Assessment Methods for soil C Pools, 2-5 nov. 1998. Ohio Univ./USDA, Abstract and Program. p.11.

BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 22, p. 641-649, 1998.

BANDICK, A. K.; DICK, R. P. Field management effects on soil enzymes activities. **Soil Biol. Biochem.**, 31:1471-1479, 1999.

BATJES, N. H. Mitigation of atmospheric CO₂ concentrations by increased carbon sequestration in the soil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 27, p. 230-235, 1998.

BLACK, H. I. J.; OKWAKOL, M. J. N.; 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of termites. **Appl. Soil Ecol.** 6, 37-53.

BOPAIAH, B. M.; SHETTI, H. S. Soil microflora and biological activities in the rhizospheres and root regions of coconutbased multistoreyed cropping and coconut monocropping systems. **Soil Biol. Biochem.**, 17:297-302, 1991.

BOYER, J. N.; GROFFMAN, P. M. Bioavailability of water extractable organic carbon fractions in forest and agricultural soil profiles. **Soil Biol. Biochem.** Exeter: Elsevier Science Ltd. v.28 (6) p.783-790. 1996.

BRADFORD, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v.72, p.248-254.

BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. Nitrogen total. In: PAGE, A. L., ed. **Methods of soil analysis**. Part 2. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1982. p. 595-624.

BURGES, T. M.; WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping. I. The semivariogram and punctual kriging. **Journal of Soil Science**, v.31, p.315-332, 1980a.

CAMARGO, E. C.; FUNKS, S. D.; CÂMARA, G. **Análise espacial de superfície. Apostilha do Curso de GIS como Ferramenta de Trabalho**, INPE, São José dos Campos, <http://www.litd.inpe.br>, 2005.

CARVALHO, M. P.; TAKEDA E.Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **R. Bras. Ci. Solo**, 27:695-703, 2003.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 133-142, 1990.

COCHRAN, V. L.; HORTON, K. A.; COLE, C. V. (1988) An estimation of microbial death rate and limitations of C or N during wheat straw decomposition. **Soil Biol. Biochem.**, v.20, p. 293-298.

CRUZ-CASTILLO, J. G.; GANESHANANDAM, S.; MACKAY, B. R.; LAWES, G. S.; LAWOKO, C. R. O.; WOOLLEY, D. J. Applications of canonical discriminant analysis in horticultural research. **HortiScience**, v.29, p.1115-1119, 1994.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.39, n.2, 2004. p.179-186.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N. O.; SIQUEIRA, J. O. & CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo do solo na região do cerrado no sul do Estado de Goiás. **R. Bras. Ci. Solo**, 26:913-923, 2002.

DALAL, R. C. Soil microbial biomass – what do the numbers really mean? **Australian Journal of Experimental Agriculture**, 38:649-665, 1998.

DANIEL, O.; COUTO, L.; SILVA, E.; JUCKSCH, I.; GARCIA, R.; PASSOS, C. A. M. Sustentabilidade em sistemas agroflorestais: Indicadores biofísicos. **R. Árvore**, 23:381-392, 1999.

DELCOURT, H.; DARIUS, P.; L.; BAERDEMAEKER, D. The spatial variability of some aspects of topsoil fertility in two Belgian fields. **Computers and Electronics in Agriculture** 14:179-196, 1996.

DE-POLLI, H.; PIMENTEL, M. S. Indicadores de Qualidade do Solo. IN: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. Processos Biológicos no Sistema Solo-Planta. Embrapa Agrobiologia. – Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 368 p, 2005.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. C, N e P na Biomassa Microbiana do Solo. In: **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo**. Ed. SANTOS, G. de A. & CAMARGO, F. A. de O. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 389 - 411.

DE-POLLI, H.; COSTANTINI, A.; ROMINA ROMANIUK, R.; PIMENTEL, M.S. Chloroform fumigation-extraction labile c pool (microbial biomass c “plus”) shows high correlation to microbial biomass c in Argentinian and Brazilian soils. **Ci. Suelo (Argentina)** 25 (1) 00-00, 2007.

DE-POLLI, H.; GAMA-RODRIGUES, E. F. da; GUERRA, J. G. M.. **Determinação da biomassa microbiana do solo: avanços e limitações**. In: FERTBIO, 2000, Santa Maria. Biodinâmica do solo – FertBio 2000. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e Sociedade Brasileira de microbiologia, 2000. v.1. p.0-14. CD ROM.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. Biomassa microbiana: perspectivas para o uso e manejo do solo. In: ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes**

domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa: SBCS/ UFV/ DPS, 1996. p. 551-564.

DIDONET, A.D.; BAGGIO, A.J.; MACHADO, A.T.; TAVARES, E.D.; COUTINHO, H.L. da C.; CANUTO, J.C.; GOMES, J.C.C.; RIBEIRO, J.F.; WADT, L. H. de O.; DE MATTOS, L. M.; BORBA, M.F.S.; KATO, M. do S. A.; URCHEI, M.A.; KITAMURA, P.C.; PEIXOTO, R.T. de G. **Marco Referencial em Agroecologia.** 2ª versão. Embrapa Agrobiologia. Seropédica, RJ. 2006. 34 p.

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**, 1994, p.3-21.

DUDA, G.P. **Conteúdo de fósforo microbiano, orgânico e biodisponível em diferentes classes de solo.** Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2000. 158p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2000.

DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S; DORAN, J.W.; JORDAN, C.; SZOTT, L.; VANCE, E. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (Ed.). **Dynamics of soil organic in tropical ecosystems.** Honolulu: University of Hawaii Press, 1989. p. 33-67.

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2ª Edição. **Revista atual.** Rio de Janeiro, 212 p. 1997.

FAUCI, M.F.; DICK, R.P. Soil microbial dynamics: short- and long-term effects of inorganic and organic nitrogen. **Soil Science Society of America Journal** 58, 801-806, 1994.

FRAISSE, C.W.; SUDDUTH, K.A.; KITCHEN, N.R.; FRIDGEN, J.J. Use of unsupervised clustering algorithms of delineating within-field management zones. St. Joseph: **American Society of Agricultural Engineers**, 1999. 121p.

GAMA-RODRIGUES, E.F. (1992) **Biomassa-C microbiana de solos de Itaguaí: comparação entre métodos da fumigação-incubação e fumigação-extração.** Tese de Mestrado. Seropédica. UFRuralRJ, 108p.

GAMA-RODRIGUES, E.F. (1997) **Carbono e Nitrogênio da biomassa microbiana do solo e da serapilheira de povoamentos de eucalipto.** Tese de Doutorado. Seropédica. UFRuralRJ, 108p.

GAMA-RODRIGUES, E.F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo-Ecosistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre, Gênese, 1999. p. 227-244.

GAMA-RODRIGUES, E.F.da; DE-POLLI, H. **Biomassa na Ciclagem de Nutrientes.** In: XXV Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas; VIII Reunião Brasileira Sobre Micorrizas; VI Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo; e III Reunião Brasileira de

Biologia do Solo. Biodinâmica do Solo, Fertbio 2000. Santa Maria-RS. v.1. p.0-14. CD ROOM.

GARCIA, C.; ROLDAN, A.; HERNANDES, T. Changes in microbial activity after abandonment of cultivation in a semiarid Mediterranean environment. **J. Environ. Qual.**, Madison, v.26, p.285-291, 1997.

GLOVER, J.D.; REGANOLD, J.P.; ANDREWS, P.K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.80, p.29-45, 2000.

GOH, K.M.; BRUCE, G.E.; DALY, M.J.; FRAMPTON, C.M.A. Sensitive indicators of soil organic matter sustainability in orchard floors of organic, conventional and integrated apple orchards in New Zealand. **Biological Agriculture and Horticulture**, v.17, p.197-205, 2000.

GOH, K.M.; PEARSON, D.R.; DALY, M.J. Effects of apple orchard production systems on some important soil physical, chemical and biological quality parameters. **Biological Agriculture and Horticulture**, v.18, p.269-292, 2001.

GOLDEN SOFTWARE, Surfer V 7.02. **Surface Mapping System**, 2000. Colorado USA.

GONÇALVES, A.S.; MONTEIRO, M.T.; GUERRA, J.G.M.; DE-POLLI, H. Biomassa microbiana em amostras de solos secadas ao ar e reumedecidas. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 37, n. 5, p. 651-658, 2002.

GUERRA, J.G.M.; FONSECA, M.C. da; ALMEIDA, D.L. de; DE-POLLI, H.; FERNANDES, M.S. Conteúdo de P da biomassa microbiana de um solo cultivado com *Brachiaria decumbens* Stapf. **Pesq. Agropec. bras.**, 30:543-551, 1995.

GUNAPALA, N.; SCOW, K.M. Dynamics of soil microbial biomass and activity in conventional and organic farming systems. **Soil Biology and Biochemistry**, v.30, p.805-826, 1998.

HALVORSON, J. J.; SMITH, J. L.; PAPENDICK, R. I. (1997). Issues of scale for evaluating soil quality. **Journal of Soil and Water Conservation**. January- February:26-30.

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 & Biochemistry** 35 (2003) 401-407.

HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M.; SWIFT, M.T. Plant litter quality and decomposition: an historical overview. In: GADISH, G.; GILLER, K.E. (Eds). **Driven by nature**. Wallingfor : CAB International, 1997. p.3-32.

HOPMANS, P.; BAUHUS, J.; KHANNA, P.; WESTON, C. Carbon and nitrogen in Forest soils: Potential indicators for sustainable management of eucalypt forests in south-eastern Austrália. **Forest Ecology and Management**, v.220, 2005. p.75-87.

JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; BRANDT, S.A. Lightfraction organic matter in soils from long-term crop rotations. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 56:1799-1806, 1992.

JASTROW, J.D.; MILLER, R.M. Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: feedbacks through organomineral associations. In: LAL, R., KIMBLE, J.M., FOLLETT, R.F., STEWART, B.A. (Eds.), **Soil Processes and the Carbon Cycle**, CRC Press, Boca Raton, pp.207-223. 1997.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. Method for measuring soil biomass. **Soil Biol. Biochem.**, 8:209-213, 1976.

JENKINSON, D. S.; RAYNER, J. H. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted Classical Experiments. **Soil Sci.**, 123:298-305, 1977.

JENKINSON, D. S.; BROOKES, P. C.; POWLSON, D. S. Measuring soil microbial biomass. **Soil Biol. Biochem.**, 36:5-7, 2004.

JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil: Measurement and Turnover. In: PAUL, E.A.; LADD, J.N., eds. **Soil Biochemistry**. New York, Marcel Dekker, 1981. v.5. p.415-471.

JENKINSON, D.S. Determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil. In: Wilson J.R. **Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems**. CAB Wallingford, UK, p.368-386, 1988.

JONES, J.A. 1990. Termites, soil fertility and carbon cycling in dry tropical Africa: a hypothesis. **J. Trop. Ecol.** 6, 291–305.

KAISER, E.A.; MARTENS, R.; HEINEMEYER, O. Temporal changes in soil microbial biomass carbon in an arable soil: consequences for soil sampling. **Plant Soil**, 179:287-295, 1995.

KENNEDY, A. C.; PAPENDICK, R. I. Microbial characteristics of soil quality. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 50, n. 3, p. 243-248, 1995.

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

KNAPP, E.B.; ELLIOT, L.F.; CAMPBELL, G.S. (1983) Microbial respiration and growth during the decomposition of wheat straw. **Soil Biol. Biochem.**, v.15, p. 319-323.

LEE, K.E.; WOOD, T.G. 1971. Termites and Soil. **Academic Press**, London/New York, 251 pp.

LOPEZ-GRANADOS, F.; JURADO-EXPOSITO, M.; ATENCIANO, S.; GARCIA-FERRER, A.; DE LA ORDEN, M.S.; GARCIA-TORRES, L. 2002. Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. **Plant and Soil**, 246, 97e105.

MALUCHE-BARETTA, C.R.D.; AMARANTE, C.V.T.; KLAUBERG FILHO, O. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. **Pesq. agropec. bras., Brasília**, v.41, n.10, 2006. p.1531-1539.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W.J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesq. Agropec. Bras.**, 35:1177-1182, 2000.

MARTINAZZO, R.; SANTOS, D.R.; GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto em resposta à adição de fosfato solúvel. **R. Bras. Ci. Solo**, 31:563-570, 2007.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Lancaster, 58: 1246-1266, 1963.

MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its application**. Les Cahiers du centre de Morphologie Mathématique, Fas. 5, C. G. Fontainebleau. 1971.

McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, 1986, 37, 617-639.

MENDES, I.C.; VIVALDI, L. Dinâmica da biomassa e atividade microbiana em uma área sob Mata de Galeria na região do DF. In: RIBEIRO, J.F.; SILVA, J.C.S. & LAZARINI, C.E., eds. **Conservação e recuperação da biodiversidade das Matas de Galeria do bioma Cerrado**. Planaltina, EMBRAPA Cerrados, 2001. p.665-687.

MENDES, I.C.; CARNEIRO, R.G.; CARVALHO, A.M.; VIVALDI, L.; VARGAS, M.A.T. **Biomassa C e atividade microbiana em solos de cerrado sob plantio direto e plantio convencional**. Planaltina, EMBRAPA Cerrados, 1999. 5p.

MOITA NETO, J. M. Estatística multivariada - Uma visão didática-metodológica. **Crítica Revista de Filosofia e Ensino**. , v.1, n.1, p.1 - 1, 2004.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.39, n.11, 2004. p.1103-1110.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002. 625p.

NEVES, M. C. P.; GUERRA, J. G. M.; CARVALHO, S. R.; RIBEIRO, R. L. D.; ALMEIDA, D. L. de. Sistema integrado de produção agroecológica ou fazendinha agroecológica do km 47.

In.: AQUINO, A.; ASSIS, R. L. (org) **Agroecologia: princípios e técnica para uma agricultura orgânica sustentável**. Brasília, EMBRAPA- Informação tecnológica. 2005. 147-172 p.

NIELSEN, M.N.; WINDING, A. **Microorganisms as indicators of soil health**. NERI Technical Report N°. 388 2002.

NORDGREN, A. (1992) A method for determining microbially available N and P in a organic soil. **Biol. Fertil. Soils**, v.13, p. 195-199.

OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, 76: 319-337, 1984.

OLEA, R.A. **Optimum mapping techniques using regionalized variable theory**. Lawrence, Kansas, Kansas Geol. Survey, University of Kansas, 1975. 137p. (Series on Spatial Analysis, 2).

OLIVEIRA, J.R.A. **O impacto de sistemas integrados de lavouras e pastagens na biomassa-C e na atividade biológica de um Latossolo Vermelho-Escuro de Cerrado**. Brasília, Universidade de Brasília, 2000. 115p. (Tese de Mestrado).

OLIVEIRA, J.R.A.; MENDES, I.C.; VILELA, L.; VIVALDI, L.; VARGAS, M.A.T. **Carbono da biomassa microbiana e atividade biológica em solos sob sistemas integrados de culturas anuais e pastagens**. Planaltina, 1999. 3p.

ORCHARD, V.; COOK, F. J. Relationship between soil respiration and soil moisture. **Soil Biology Biochemistry**, v. 15, n. 4, p. 447-453, 1983.

ORMOND, J.G.P.; PAULA, S.R.L. de; FAVERET FILHO, P.; ROCHA, L.T.M. **Agricultura orgânica: quando o passado é futuro**. Rio de Janeiro: BNDES, 2002. 35p.

PARKIN, T. B. (1993). Spatial variability of microbial processes in soil - a review. **Journal of Environmental Quality** 22:409-417.

PARKINSON, D.; COLEMAN, D. C. Methods for assessing soil microbial populations, activity and biomass microbial communities, activity and biomass. **Agric. Ecosyst. Environm.**, 34:3-33, 1991.

PASCUAL, J.A.; ROS, M.; HERNANDEZ, T.; GARCIA, C. Effect of long-term monoculture on microbiological and biochemical properties in semiarid soils. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, 32:537-552, 2001.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**. California: Academic Press, 1996. 340p.

PAZ-GONZÁLES, A.; VIEIRA, S.R.; TABOADA CASTRO, M^a.T. The effect of cultivation on the spatial variability of selected properties of an umbric horizon. **Geoderma** 97, 2000. p. 273-292.

PFENNING, L.; EDUARDO, B.D.E.P.; CERRI, C.C. Os métodos de fumigação-incubação e fumigação-extração na estimativa da biomassa microbiana de solos da Amazônia. **Rev. Brás. Ci. Solo**, v.16, p31-37, 1992.

PIMENTEL-GOMES, F. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 160 p.

PINHEIRO, E.F.M. **Frações orgânicas e agregação em Latossolo em função de sistemas de preparo do solo de oleráceas em Paty do Alferes, RJ**. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2002. 65p. (Tese de Mestrado)

PLANT, R. E. Site specific management: the application of information technology to crop production. Computers and electronics in agriculture. **Elseviers Science B.V.**, Volume 30, 9-29 pp. 2001.

POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biol. Biochem.** V. 19, p. 159-164, 1987.

PRADO, P. I.; LEWINSOHN, T. M.; CARMO, R. L.; HOGAN, D. J. “Ordenação Multivariada na Ecologia e seu Uso em Ciências Ambientais. **Ambiente e Sociedade**, Campinas, SP: v.10, p. 69-83, 2002).

REID, J.B.; GROSS, M.J. Suppression of decomposition of 14 C-labeled plant roots in the presence of living roots of maize and perennial ryegrass. **Journal of Soil Science** 33, 387-395., 1981.

RENZ, T. **Influence of land use on microbial parameters and phosphatase activity in Cerrado oxisols**. Bayreuth, University Bayreuth, 1997. 72p. (Tese de Mestrado) Publication, 5).

RILLIG, M.C.; RAMSEY, P.W.; MORRIS, S.; PAUL, E.A. (2003). Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to land-use change. **Plant and Soil**, 253(2):293-299.

RODRIGUES, E. F. da G.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; DE-POLLI, H. Biomassa microbiana de carbono de solos de Itaguaí (RJ): comparação entre os métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 3, p. 427-432, 1994.

ROVER, M.; HEINEMEYER, O.; MUNCH, J.C.; KAISER, E.A. 1999. Spatial heterogeneity within the plough layer: high variability of N₂O emission rates. **Soil Biology and Biochemistry** 31, 167-173.

SEBAI, T.E.L.; LAGACHERIE, B.; SOULAS, G.; MARTIN-LAURENT, F. Spatial variability of isotopurton mineralizing activity within an agricultural field: Geostatistical analysis of simple physicochemical and microbiological soil parameters. **Environmental Pollution**, v.145, (2007) p.680-690.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: Vargas, M. T.; Hungria, M. G. (Ed.). **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. P. 465-524.

SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A. de O.; CERETTA, C.A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: **Fundamentos de química do solo**. 3ª ed./ MEURER, E.J. Porto Alegre: Evangraf, 2006. 285p.

SINGER, M. J.; EWING, S. (2000). **Soil quality**. In: Handbook of Soil Science. Sumner, M. E. (eds.). CRC Press, Boca Raton, pp. 271-298.

SINGH, K. P. Dynamics of microbial biomass and nitrogen supply during primary succession on blastfurnace slag dumps in dry tropics. **Soil Biol. Biochem.**, 35:365-372, 2003.

SIQUEIRA, J. O.; NAIR, M. G.; HAMMERSCHMIDT, R.; SAFIR, G. R. Significance of phenolic compounds in plant-soilmicrobial systems. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Knoxville, v.10, n1, p.63-121, 1991.

SKJEMSTAD, J.; DALAL, R.C. Spectroscopic and chemical differences in organic matter of two Vertissols subjected to long periods of cultivation. **Austr. J. Soil Res.**, 25:323-335, 1987.

SMITH, J. L.; PAUL, E. A. The significance of soil biomass estimates. In: BOLLAG, J. M.; STOTTZKY, G., ed. **Soil Biochemistry**, 6. New York: Marcel Decker, p. 357-396. 1990.

SOHI, S.; MAHIEU, N.; ARAH, J.R.M.; POWLSON, D.S.P.; MADARI, B.; GAUNT, J.L. Procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 65:1121-1128, 2001.

SOUSA, J.M.P. **Perdas por erosão e características físico-hídricas de Latossolo em função do preparo do solo oleráceas no ambiente de mar de morros, Paty do Alferes, RJ**. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2002. 93p. (Tese de Mestrado)

SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; SILVA, C.A.; BUZETTI, S. Alterações nas frações do carbono em um neossolo quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso do solo. **Acta Sci. Agron., Maringá**, v.28, n.3, 2006. p.305-311.

SPARLING, G. P.; VOJVODC-VUKOVIC, M.; SCHIPPER, L. A. 1998. Hot-water-soluble C as a simple measure of labile soil organic matter: the relationship with microbial biomass C. **Soil Biol. Biochem.**, 30 (10-11): 1472-1479.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. **Soil Plant Sci.**, v. 49, p. 1-24, 1999.

STOYAN, H.; DE-POLLI, H.; BOHM, S.; ROBERTSON, G. P.; PAUL, E. A. Spatial heterogeneity of soil respiration and related properties at the plant scale. **Plant and Soil**, 222:203-214, 2000.

SWEZEY, S.L.; WERNER, M.R.; BUCHANAN, M.; ALLISON, J. Comparison of conventional and organic apple production systems during three years of conversion to organic management in coastal California. **American Journal of Alternative Agriculture**, v.13, p.162-180, 1998.

TATE, K.R.; ROSS, D.J.; FLETAM, C.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, 20:329-335, 1988.

TER BRAAK, C.J.F.; SMILAUER, P. Canoco for Windows v. 4.5. CPRO-DLO, Wageningen, Netherlands, 2002.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. **Australian Journal of Soil Science**, 17: 429-441, 1979.

TURETTA, A.P.D. **Alterações em função do manejo agrícola de oleráceas em Latossolo Vermelho no bioma Mata Atlântica - Paty do Alferes, RJ**. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2000. 128p. (Tese de Mestrado)

VALENTIN, J.L. **Ecologia numérica: uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2000. 117p.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, 19:703-707, 1987.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial de solos. In: Tópicos Avançados em Ciência do Solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. 1-53 pp. 2000.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Geostatistical Theory and Application to Variability of Some Agronomical Properties. **Hilgardia**, v.51, n.3, 1983.

VILLELA, A.L.O. **Variabilidade Espacial da Qualidade Físico-Hídrica dos Solos de uma Unidade de Pesquisa em Produção Agroecológica**. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2007. 55p. (Tese de mestrado).

WANG, W. J.; DALAL, R. C.; MOODY, P. W.; SMITH, C. J. Relationship of soil respiration to microbial biomass, substrate availability and clay content. **Soil Biol. Biochem.**, 35:273-284, 2003.

WARDLE, D.A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soils. **Biological Reviews**. v.67, p. 321-358. 1992.

WARDLE, D.A. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: A global scale synthesis. **Soil Biol. Biochem.**, v.30, p.1627-1637, 1998.

WARDLE, D.A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: ARAÚJO, R.S & HUNGRIA, M. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**, Brasília, EMBRAPA-SPI, 1994. p.419-436.

WEBSTER, R.. Statistics to support soil research and their presentation. **European Journal of Soil Science**, v.52, 331-340, 2001.

WERNER, M.R. Soil quality characteristics during conversion to organic orchard. **Journal of Soil and Ecology**, v.5, p.151-167, 1997.

WRIGHT S.F.; UPADHYAYA A. (1998). A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**. 198: 97-107.

WRIGHT, S.F.; STARR, J.L.; PALTINEANU, I.C. 1999. Changes in aggregate stability and concentration of glomalin during tillage management transition. **Soil. Sci. Soc. Am. J.** 63:1825–1829.

WRIGHT, S.F.; FRANKE-SNYDER, M.; MORTON, J.B.; UPADHYAYA, A. 1996. Time-course study and partial characterization of a protein on arbuscular mycorrhizal hyphae during active colonization of roots. **Plant and Soil**. 181:193–203.

WRIGHT, S.F.; UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein or arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**, 161 (9): 575-586, 1996.

YANAI, J.; LEE, C.K.; UMEDA, M.; KOSAKI, T., 2000. Spatial variability of soil chemical properties in a paddy field. **Soil Science and Plant Nutrition** 46, 473-482.

YANAI, J.; SAWAMOTO, T.; OE, T.; KUSA, K.; YAMARKAWA, K.; SAKAMOTO, K.; NAGANAWA, T.; INUBSHI, K.; HATANO, R.; KOSAKI, T. 2003. Spatial variability of nitrous oxide emissions and their soil-related determining factors in an agricultural field. **Journal of Environmental Quality** 32, 1965-1977.