

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

Lucas Lopes Vieira

**INFLUÊNCIA DE ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E
MICROBIOLÓGICOS NA AGREGAÇÃO DE SOLOS SOB
DIFERENTES SISTEMAS DE USO, EM MARIA DA FÉ, MG**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de Concentração: Diagnóstico, monitoramento e gestão ambiental

Orientadora: Prof^a.Dr^a. Eliane G. P. Melloni

Co-orientador: Prof. Dr. Rogério Melloni

Maio de 2010

Itajubá-MG

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –
Bibliotecária Margareth Ribeiro- CRB_6/1700

V658i

Vieira, Lucas Lopes

Influência de atributos físicos, químicos e microbiológicos na
agregação de solos sob diferentes sistemas de uso, em Maria da Fé,
MG / Lucas Lopes Vieira. -- Itajubá, (MG) : [s.n.], 2010.

61 p. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Eliane Guimarães P. Melloni.

Coorientador: Prof. Dr. Rogério Melloni.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Classe de agregados. 2. Matéria orgânica. 3. Sistemas de ma_
nejo. 4. Microorganismos do solo. I. Melloni, Eliane Guimarães P.,
orient. II. Melloni, Rogério, coorient. III. Universidade Federal de
Itajubá. IV. Título.

Dedico esse trabalho aos meus pais, a base de tudo.

*“Viver e não ter a vergonha de ser feliz,
cantar e cantar e cantar,
a beleza de ser um eterno aprendiz”
(Gonzaguinha)*

AGRADECIMENTOS

A Prof.^a Dr.^a Eliane Guimarães Pereira Melloni, por sua amizade e por sua orientação.

A agência de fomento FAPEMIG, pelo apoio financeiro.

Ao Prof. Dr. Rogério Melloni, por seus conselhos, amizade e pelo auxílio no desenvolvimento da dissertação.

A Prof.^a Dr.^a Maria Inês Nogueira Alvarenga, por sua amizade, paciência e atenção dispensada.

A Prof.^a Dr.^a Norma Gouvêa Rumjanek, por ter aceitado o convite para participar da banca examinadora contribuindo com pertinentes apontamentos no trabalho.

A técnica do Laboratório de Solos da Universidade Federal de Itajubá, Tânia Aparecida de Sousa Barbosa, uma grande amiga que foi fundamental no desenvolvimento deste trabalho.

Aos técnicos de laboratório Cláudio e Paulo, que me auxiliaram nas coletas em campo. Muito obrigado pelo empenho e pela amizade.

A todos os que me auxiliaram nos laboratórios de solo e microbiologia, tanto nas análises quanto nos trabalhos extras. Agradeço em especial minha dupla, Vanessa Cristina Silva Vieira, grande e importante amiga.

Aos amigos mestrandos do MEMARH 2008/2009, em especial aos companheiros das disciplinas especiais do MEMARH.

A República Tijolino, a república mais redonda de Itajubá. Aos meus irmãos, Tui, Guigui, Et, Rinite, Fred, Arturo, Bixão, Fuga, o meu muito obrigado. Agradeço também a todos os agregados tijolenses.

A todas as pessoas que, de uma forma ou de outra, nos auxiliaram no desenvolvimento da dissertação.

A meus pais, pelo apoio incondicional.

Principalmente eu agradeço a Deus, que me dá a fé e a esperança de que preciso.

RESUMO

Vieira, L. L. Influência de atributos físicos, químicos e microbiológicos na agregação de solos sob diferentes sistemas de uso, em Maria da Fé, MG

A influência de atributos físicos, químicos e microbiológicos na agregação do solo vem sendo discutida e constantemente é alvo de diversos trabalhos científicos. No entanto, a maioria dos estudos aborda a questão da influência da matéria orgânica isoladamente e, ou, dos sistemas de manejo na agregação, sendo que estudos abrangentes envolvendo efeitos dos microrganismos na estabilidade dos agregados não são frequentes. Por meio da determinação de atributos físicos, químicos e microbiológicos, avaliou-se a relação entre esses atributos e agregação do solo, sob diferentes sistemas de uso da terra (pastagem, mata de eucalipto, mata nativa com araucária, plantio convencional de cenoura e plantio convencional de abóbora). Foram realizadas, também, análises de regressão, entre as diferentes classes de agregado (I a V), para cada parâmetro microbiológico. Os sistemas de mata apresentaram melhor qualidade física em virtude da manutenção da matéria orgânica aliada ao não revolvimento do solo, que promoveram menor densidade do solo e maior volume total de poros. O sistema de pastagem apresentou boa qualidade física, apesar de um aumento na densidade do solo e uma menor porosidade total. Os sistemas convencionais apresentaram maior degradação física decorrente do maior revolvimento do solo e da rápida decomposição do material orgânico em superfície. Para os parâmetros microbiológicos, constatou-se uma diminuição na quantidade de micélios da classe I para a classe V nos sistemas convencionais, em virtude dos altos valores encontrados para pH, soma de bases, saturação por bases e CTC efetiva. Houve um aumento, seguido de uma diminuição nos micélios dos sistemas de mata e de pastagem. As melhores condições físicas foram responsáveis pelo aumento no comprimento de hifas de fungos nesses sistemas. Observou-se um aumento na atividade microbiana da classe I até a V em todos os sistemas de uso, exceto para a pastagem. Para os sistemas convencionais, este aumento esteve associado ao maior teor de fósforo encontrado. Nos sistemas de mata e de pastagem, a maior CTC total, bem como alto teor de MO e raízes, influenciaram em uma maior atividade. Em relação à biomassa microbiana, houve uma queda da classe I até a V em todos os sistemas de uso. Para os sistemas convencionais, esta queda esteve associada ao revolvimento do solo, acarretando em menores sítios para microrganismos. No sistema de pastagem, a densidade do solo foi responsável pela diminuição da biomassa, enquanto que nos sistemas de mata, o estresse microbiano foi o responsável por essa diminuição. Assim, verificou-se que a diminuição no tamanho de agregados promoveu menores valores de micélio e biomassa e, em contrapartida, maior atividade e estresse microbianos.

Palavras-chave: classes de agregados, estabilidade de agregados, matéria orgânica, sistemas de manejo, microrganismos do solo.

ABSTRACT

Vieira, L. L. Influence of the physical, chemical and microbiological soil attributes in soils aggregation under different land uses in Maria da Fé, MG

The influence of the soil physical, chemical and microbiological attributes in its aggregation has been discussed and is constantly the target of several scientific papers. However, most studies address the question of the influence of organic matter alone and / or the management systems in the aggregation, and comprehensive studies involving effects of microorganisms on the stability of the aggregates are not frequent. Through the determination of the soil physical, chemical and biological attributes, it was evaluated the relation between these attributes and soil aggregation under different land use systems (pasture, forest of eucalyptus, native forest with Araucaria, conventional tillages of carrot and pumpkin). It was also performed regression analysis, between different classes of aggregate (I to V), for each microbiological parameter. The forest systems had better physical quality due to the maintenance of organic matter and no tilling, which promoted lower bulk density and higher total porosity. The pasture system showed good physical quality, in spite of caused an increase in bulk density and lower porosity. Conventional systems had higher physical degradation due to increased soil disturbance and the rapid decomposition of organic material in surface. For the microbiological parameters, was found a decrease in the amount of mycelia from class I to class V in conventional systems due to the high values found for pH, sum of bases, base saturation and effective CEC. There was an increase, followed by a decrease in the mycelium of the systems forest and pasture. The best physical conditions were responsible for the increase in the length of mycelium in these systems. It was observed an increase in the microbial activity from Class I to V in all land uses, except for pasture. For conventional systems, this increase was associated with higher levels of phosphorus found. On systems of forest and pasture, the higher total CEC as well as high content of organic matter and roots influenced in a higher activity. In relation to microbial biomass, there was a reducing from Class I to V in all systems in use. For conventional systems, this reducing was associated with no tilling, resulting in smaller sites for microorganisms. In the pasture system, the soil density was responsible for the decrease in biomass, whereas in forest systems, the microbial stress was responsible for this decrease. Thus, it was found that the decrease in size aggregates promoted lower values of mycelium and biomass and, on the other hand, increased microbial activity and stress.

Keywords: classes of aggregates, aggregate stability, organic matter, tillage systems, soil microorganisms.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 4.1: Destaque da carta do município de Itajubá-MG, contemplando a localização da Fazenda Pomária, área rural do município de Maria da Fé - MG.....	16
Figura 4.2: Mapa de uso do solo, contemplando os sistemas de manejo da terra adotados no estudo, na Fazenda Pomária, localizada na área rural do município de Maria da Fé - MG. a) PC1: Plantio convencional de cenoura; b) PC2: Plantio convencional de abóbora; c) Pasto; d) Mata nativa com araucária; e) Mata de eucalipto.....	17
Figura 4.3: Sistemas de uso da terra selecionados para o estudo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé – MG. a) Plantio convencional de abóbora; b) Mata de Eucalipto; c) Pasto; d) Mata nativa com araucária; e) Plantio convencional de cenoura.....	18
Figura 4.4: Croqui, evidenciando a metodologia utilizada para a amostragem de solo, em cada sistema de uso da terra, na Fazenda Pomária, Maria da Fé – MG. T1: transecto 1; T2: transecto 2; T3: transecto 3; T4: transecto 4; A1: área de estudo.....	19
Figura 4.5: Etapas da metodologia utilizada para a análise de estabilidade de agregados via-úmida. a) Pesagem da amostra de solo; b) Conjunto de peneiras; c) Agitamento de peneiras; d) Agregados em cada peneira.....	22
Figura 4.6: Etapas da metodologia utilizada para a análise da densidade de partículas. a) Pesagem da amostra; b) Balão volumétrico de 50 mL; c) Bureta com álcool para a titulação da amostra de solo.....	22
Figura 4.7: Etapas da metodologia utilizada para a análise da densidade do solo. a) Penetração do anel no solo. b) Retirada do anel no solo.....	23
Figura 4.8: Etapas da metodologia utilizada para a análise de textura. a) Peso da amostra de solo; b) Preparação para a agitação mecânica; c) Preparação para agitação mecânica; d) Agitação mecânica; e) Decantação; f) Separação da areia; g) Separação da argila.....	24
Figura 4.9: Etapas da metodologia utilizada para a análise de atividade e biomassa microbianas.....	25
Figura 4.10: Etapas da metodologia utilizada para a análise de quantificação do comprimento de micélio total de fungos micorrízicos arbusculares. a) Pesagem da amostra de solo; b) Peneiramento do solo; c) Solução preparada; d) Agitamento e decantação da solução; e) Coleta da alíquota para contagem; f) Preparação da lâmina de contagem; g) Lâmina de contagem.....	26

Figura 4.11: Etapas da metodologia utilizada para a análise de densidade de raízes. a) Massa de solo em um volume conhecido; b) Lavagem do solo para separação das raízes.....	26
Figura 5.1: Densidade de partículas em amostras de solo de cinco sistemas de manejo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé – MG. PC1: Plantio convencional de cenoura; PC2: Plantio convencional de abóbora; P: Pasto; MA: Mata nativa com araucária; ME: Mata de eucalipto.....	30
Figura 5.2: Volume total de poros em amostras de solo de cinco sistemas de manejo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé – MG. PC1: Plantio convencional de cenoura; PC2: Plantio convencional de abóbora; P: Pasto; MA: Mata nativa com araucária; ME: Mata de eucalipto.....	31
Figura 5.3: Densidade do solo em amostras de solo de cinco sistemas de manejo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé – MG. PC1: Plantio convencional de cenoura; PC2: Plantio convencional de abóbora; P: Pasto; MA: Mata nativa com araucária; ME: Mata de eucalipto.....	32
Figura 5.4: Diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) em amostras de solo de cinco sistemas de manejo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé – MG. PC1: Plantio convencional de cenoura; PC2: Plantio convencional de abóbora; P: Pasto; MA: Mata nativa com araucária; ME: Mata de eucalipto	34
Figura 5.5: Índice de Estabilidade de Agregados em amostras de solo de cinco sistemas de manejo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé – MG. PC1: Plantio convencional de cenoura; PC2: Plantio convencional de abóbora; P: Pasto; MA: Mata nativa com araucária; ME: Mata de eucalipto	35
Figura 5.6: Densidade de raízes em amostras de solo de cinco sistemas de manejo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé – MG. PC1: Plantio convencional de cenoura; PC2: Plantio convencional de abóbora; P: Pasto; MA: Mata nativa com araucária; ME: Mata de eucalipto	37
Figura 5.7: Comprimento de micélio extrarradicular total de fungos micorrízicos arbusculares, por classe de agregado, em cinco sistemas de manejo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé – MG. Classe I: 4,00-2,36 mm; Classe II: 2,36-1,18 mm; Classe III: 1,18-0,60 mm; Classe IV: 0,60-0,30 mm; Classe V: 0,30-0,15 mm; PC1: plantio convencional de cenoura; PC2: plantio convencional de abóbora; P: pasto; MA: mata nativa com araucária; ME: mata de eucalipto;.....	39

Figura 5.8: Micélio total de fungos em função da classe de agregado, em amostras de solo da Fazenda Pomária, Maria da Fé – MG. Classe I: 4,00-2,36 mm; Classe II: 2,36-1,18 mm; Classe III: 1,18-0,60 mm; Classe IV: 0,60-0,30 mm; Classe V: 0,30-0,15 mm; PC1: Plantio convencional de cenoura; PC2: Plantio convencional de abóbora; Pasto; Mata nativa com araucária; Mata de eucalipto.....42

Figura 5.9: Atividade microbiana, por classe de agregado, de cinco sistemas de manejo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé – MG. Classe I: 4,00-2,36 mm; Classe II: 2,36-1,18 mm; Classe III: 1,18-0,60 mm; Classe IV: 0,60-0,30 mm; Classe V: 0,30-0,15 mm Plantio convencional de cenoura; Plantio convencional de abóbora; Pasto; Mata nativa com araucária; Mata de eucalipto.....44

Figura 5.10: Atividade microbiana em função da classe de agregado, em amostras de solo da Fazenda Pomária, Maria da Fé – MG. Classe I: 4,00-2,36 mm; Classe II: 2,36-1,18 mm; Classe III: 1,18-0,60 mm; Classe IV: 0,60-0,30 mm; Classe V: 0,30-0,15 mm; PC1: Plantio convencional de cenoura; PC2: Plantio convencional de abóbora; Pasto; Mata nativa com araucária; Mata de eucalipto.....45

Figura 5.11: Biomassa microbiana, por classe de agregado, de cinco sistemas de manejo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé – MG. Classe I: 4,00-2,36 mm; Classe II: 2,36-1,18 mm; Classe III: 1,18-0,60 mm; Classe IV: 0,60-0,30 mm; Classe V: 0,30-0,15 mm; PC1: plantio convencional de cenoura; PC2: plantio convencional de abóbora; P: pasto; MA: mata nativa com araucária; ME: mata de eucalipto.....47

Figura 5.12: Biomassa microbiana em função da classe de agregado, em amostras de solo da Fazenda Pomária, Maria da Fé – MG. Classe I: 4,00-2,36 mm; Classe II: 2,36-1,18 mm; Classe III: 1,18-0,60 mm; Classe IV: 0,60-0,30 mm; Classe V: 0,30-0,15 mm; PC1: Plantio convencional de cenoura; PC2: Plantio convencional de abóbora; Pasto; Mata nativa com araucária; Mata de eucalipto.....48

Figura 5.13: Coeficiente metabólico, por classe de agregado, de cinco sistemas de manejo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé – MG. Classe I: 4,00-2,36 mm; Classe II: 2,36-1,18 mm; Classe III: 1,18-0,60 mm; Classe IV: 0,60-0,30 mm; Classe V: 0,30-0,15 mm; PC1: plantio convencional de cenoura; PC2: plantio convencional de abóbora; P: pasto; MA: mata nativa com araucária; ME: mata de eucalipto.....50

Figura 5.14: Coeficiente metabólico em função da classe de agregado, em amostras de solo da Fazenda Pomária, Maria da Fé – MG. Classe I: 4,00-2,36 mm; Classe II: 2,36-1,18 mm; Classe III: 1,18-0,60 mm; Classe IV: 0,60-0,30 mm; Classe V: 0,30-0,15 mm; PC1: Plantio

convencional de cenoura; PC2: Plantio convencional de abóbora; Pasto; Mata nativa com araucária; Mata de eucalipto.....	51
Figura 5.15: Resumo geral do comportamento das variáveis microbiológicas sobre as classes de agregado de cinco sistemas de uso da terra, em amostras de solo da Fazenda Pomária, Maria da Fé – MG.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Caracterização dos sistemas de uso da terra selecionados para o estudo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé – MG.....	18
Tabela 5.1: Análise de macronutrientes, soma de bases, acidez potencial e alumínio extraível, em amostras de solo de cinco sistemas de manejo, localizados na fazenda Pomária, Maria da Fé-MG. PC2: plantio convencional de abóbora; ME: mata de eucalipto; P: pasto; MA: mata nativa com araucária; PC1: plantio convencional de cenoura.....	28
Tabela 5.2: Análise de CTC (efetiva – t; total – T), V%, m%, matéria orgânica (MO), fósforo remanescente (P-rem) e pH, em amostras de solo de cinco sistemas de manejo, localizados na fazenda Pomária, Maria da Fé-MG. PC2: plantio convencional de abóbora; ME: mata de eucalipto; P: pasto; MA: mata nativa com araucária; PC1: plantio convencional de cenoura.....	28
Tabela 5.3: Análise e classificação de textura, de cinco sistemas de manejo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé – MG. PC2: plantio convencional de abóbora; ME: mata de eucalipto; P: pasto; MA: mata nativa com araucária; PC1: plantio convencional de cenoura.....	29
Tabela 5.4: Correlações entre os atributos comprimento extrarradicular de micélio de fungos micorrízicos arbusculares e atributos químicos de cinco sistemas de manejo localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé – MG.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS

- Al – alumínio
- AM – atividade microbiana
- BM – biomassa microbiana
- C – carbono
- Ca – cálcio
- CBM – carbono da biomassa microbiana
- C-CO₂ – respiração basal
- CO₂ – dióxido de carbono
- CTC – capacidade de troca de cátions
- DMG – diâmetro médio geométrico
- DMP – diâmetro médio ponderado
- DP – densidade de partículas
- DR – densidade de raízes
- DS – densidade do solo
- IEA – índice de estabilidade dos agregados
- FMA – fungos micorrízicos arbusculares
- Fe – ferro
- H – hidrogênio
- K – potássio
- m% - saturação por alumínio
- MA – mata nativa com araucária
- ME – mata de eucalipto
- Mg – magnésio
- MO – matéria orgânica
- MOS – matéria orgânica do solo
- N – nitrogênio

P - pasto

P-rem – fósforo remanescente

PC1 – plantio convencional de cenoura

PC2 – plantio convencional de abóbora

pH – potencial hidrogeniônico

PU – peneiramento úmido

qCO₂ – quociente metabólico

R² - coeficiente de determinação

S – enxofre

SB – soma de bases

TFSE – terra fina seca em estufa

(t) – capacidade efetiva de troca de cátions

(T) – capacidade total de troca de cátions

V% - saturação por bases

VTP – volume total de poros

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	viii
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. OBJETIVO GERAL.....	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS DO SOLO.....	4
3.2. RELAÇÃO ENTRE MATÉRIA ORGÂNICA X AGREGADOS DO SOLO	6
3.3. AGREGADOS DO SOLO E MICRORGANISMOS	9
3.4. AGREGADOS E SISTEMAS DE CULTIVO.....	12
4. METODOLOGIA	16
4.1. HISTÓRICO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	16
4.2. AMOSTRAGEM E DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS	19
4.2.1. Atributos físicos	20
4.2.2. Atributos biológicos	24
4.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS.....	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1. ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS.....	28
5.1.1. Textura do solo	28
5.1.2. Densidade de partículas	29

5.1.3. Densidade do solo	31
5.1.4. Estabilidade de agregados via-úmida	33
5.2. ATRIBUTOS BIOLÓGICOS	37
5.2.1. Densidade de raízes	37
5.2.2. Quantificação de micélio extrarradicular total de fungos micorrízicos	39
5.2.3. Atividade microbiana	43
5.2.4. Quantificação da biomassa microbiana	46
5.2.5. Quociente metabólico	49
6. CONCLUSÕES	53
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

1. INTRODUÇÃO

A agregação do solo está relacionada a diversos fatores e processos físicos, químicos e microbiológicos, fundamentais para a manutenção, desenvolvimento e equilíbrio do sistema.

A literatura científica aponta diversas melhorias no solo devido a um bom estado de agregação, tais como melhor desenvolvimento radicular, aeração do solo, proteção contra processos erosivos, armazenamento de água, entre outros. Para avaliar o grau de estruturação de um solo e, por conseguinte, a qualidade física do solo, atributos como a textura, a matéria orgânica, substâncias químicas, teor de carbono orgânico e microbiano, entre outros, tem sido indicados.

Dentre os fatores que interferem na agregação do solo, a biomassa e atividade de microrganismos podem ser consideradas de grande importância. A comunidade microbiana apresenta forte efeito agregante em função dos produtos gerados de seus metabolismos e do efeito físico com que as hifas dos fungos exercem sobre as partículas do solo, conferindo maior estabilidade aos agregados, maior superfície de absorção de nutrientes, e melhor ambiente para o crescimento de raízes.

Estudos envolvendo a influência dos microrganismos na agregação do solo são pouco frequentes no Brasil. Em função disso e ressaltando a importância da comunidade microbiana em importantes processos do solo, o Instituto de Recursos Naturais, da Universidade Federal de Itajubá, vem desenvolvendo uma série de pesquisas voltadas à microbiologia do solo, visando qualificá-los como indicadores de sustentabilidade.

A importância de se estudar solos sob diferentes coberturas vegetais reside em avaliar os efeitos, positivos e, ou, negativos, do manejo das culturas e do preparo do solo sobre o ambiente edáfico, e também sobre os microrganismos. A degradação causada pelo manejo inadequado pode acarretar em problemas diversos, tais como perda de fertilidade, compactação e fracionamento dos agregados, drenagem ineficiente de água, entre outros, comprometendo assim o crescimento do sistema radicular dos vegetais e a sustentabilidade ambiental desses agroecossistemas.

A área de estudo trata-se de uma propriedade rural, localizada no município de Maria da Fé – MG, onde são empregados diferentes sistemas de uso e manejo da terra. Cinco áreas representativas do manejo de solo da região foram estudadas: agricultura intensiva (plantio de cenoura e plantio de abóbora), plantações de eucalipto, pasto e mata nativa com araucária.

A proposta de se avaliar a influência da comunidade microbiana, diretamente sobre as classes de agregados do solo justifica-se pela escassez de trabalhos, no Brasil, referentes a

esse assunto. Os atributos químicos e físicos do solo que influenciam a estabilidade de agregados apresentam relação direta com os processos microbiológicos e bioquímicos. Assim, esse projeto, além de proporcionar a caracterização química e física do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo da terra, enfoca a utilização de indicadores microbiológicos na previsão dos efeitos dos mesmos sobre a agregação do solo, e busca um entendimento amplo sobre os fatores que influenciam tal propriedade do solo, sob diferentes coberturas vegetais, particularmente sob cultivo de eucalipto, pasto ou agricultura, em substituição a matas nativas.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a agregação do solo sob os pontos de vista físico, químico e microbiológico em diferentes sistemas de uso da terra (mata nativa com araucária, mata de eucalipto, pastagem, agricultura intensiva – plantios de cenoura e abóbora), na fazenda Pomária, localizada no município de Maria da Fé - MG.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os atributos físicos textura, densidade do solo e estabilidade de agregados via úmida e químicos pH, CTC, matéria orgânica, macronutrientes em solos sob diferentes coberturas vegetais;
- Avaliar os atributos microbiológicos biomassa e atividade microbianas, quociente metabólico e comprimento de micélio extrarradicular total de fungos micorrízicos arbusculares diretamente em agregados do solo de diferentes classes;
- Avaliar o peso de raízes em amostras compostas de solo nas diferentes cobertas vegetais;
- Relacionar o efeito de atributos físicos, químicos e microbiológicos na agregação de solos sob diferentes coberturas vegetais.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS DO SOLO

Agregados são componentes estruturais responsáveis pela manutenção das condições edáficas tais como: aeração, porosidade, crescimento e desenvolvimento de plantas e da comunidade microbiana, infiltração e controle de processos erosivos (OADES, 1984; DEXTER, 1988).

Melo et al. (2008) definiram os agregados como: “unidades secundárias formadas pela combinação de partículas minerais com substâncias orgânicas e inorgânicas, em decorrência das cargas elétricas superficiais das partículas coloidais”.

Quanto à formação dos agregados, Kiehl (1979) afirmou que, forças mecânicas (crescimento de raízes, locomoção da macrofauna do solo etc.) seriam responsáveis pela aproximação entre as partículas do solo, e, após o contato, compostos cimentantes fariam a união das moléculas, formando o agregado.

Borges et al. (2003) comentaram que os fatores que interferem na união das moléculas para a formação do agregado, podem se manifestar por meio de processos físicos (como os ciclos de umedecimento e secagem), químicos (como precipitação de óxidos de Fe e Al) e biológicos (ação de plantas e microrganismos).

Bastos et al. (2005), estudando a formação de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem, na região de Viçosa/MG, ressaltaram os principais fatores que interferem na agregação do solo, a saber: aspectos qualitativos e quantitativos de argila, metais, carbonatos, óxidos e hidróxidos, exsudatos de plantas e demais complexos resultantes do metabolismo de microrganismos.

Uma boa estrutura para um solo é aquela em que seus agregados estão organizados de uma forma que garanta sua estabilidade. Veiga et al. (2009) afirmaram que a estabilidade de um agregado pode ser classificada, observando-se dois critérios: (a) a habilidade de um solo em manter sua estrutura quando da ação da água; (b) a habilidade de um solo em manter sua umidade e estrutura quando da ação de forças externas, principalmente mecânicas.

Salton et al. (2008) ressaltaram a participação das raízes na formação e estabilidade dos agregados do solo. Esses autores destacaram, principalmente, a rizosfera, como local de intensa agregação, aliada à ação de hifas de fungos micorrízicos, que aumentam a estabilidade dos agregados. Outra importante ressalva feita por estes autores é a de que os agregados

formados por processos físicos podem não ser estáveis, e que, os agentes cimentantes ligados a aspectos biológicos, são os que conferem maior estabilidade às porções.

Soler (2003) destacou que o grau de estabilidade de um agregado está intimamente ligado a dinâmica de processos erosivos, e, também, a atributos físicos relacionados à estruturação, ambos fortemente dependentes do manejo agrícola utilizado. A autora fez uma ressalva de que quanto maior o tamanho do agregado, maior a sua estabilidade.

Além de aspectos de manejo e clima, Salton et al. (2008) comentaram que a textura é de fundamental importância na estabilidade dos agregados. Estes autores verificaram que áreas com maior teor de argila apresentaram maior estabilidade de agregados. Isso foi confirmado por Almeida et al. (2008), os quais verificaram que o valor para o índice de estabilidade dos agregados de um latossolo foi o maior, em termos percentuais, quando comparado aos demais solos. Os autores comentaram que o maior teor de argila desse horizonte foi o responsável por favorecer maior estabilidade aos agregados.

Quanto ao tamanho, os agregados podem ser classificados conforme teoria da hierarquização dos agregados (TISDALL e OADES, 1982) em cinco classes: $< 2 \mu\text{m}$; de 2 a $20 \mu\text{m}$; de 20 a $250 \mu\text{m}$; de $250 \mu\text{m}$ a 2mm ; $> 2 \text{mm}$. Os macroagregados correspondem às estruturas maiores que $250 \mu\text{m}$ e os microagregados às menores que esta fração.

Os macroagregados são responsáveis, principalmente, pela manutenção da aeração do solo, bem como pelas trocas gasosas e pela infiltração de água no perfil. Os microagregados do solo estão fortemente ligados à capacidade de retenção de água (MENDES, 2003).

Calonego e Rosolem (2008), em estudos sobre estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas, ressaltaram que, os macroagregados estáveis são considerados melhores e mais resistentes, e, conseqüentemente, aumentam a capacidade do solo de receber carga sem sofrer deformações irreversíveis.

Siqueira et al. (1994) constataram que para um bom desenvolvimento vegetal, faz-se necessária a presença de agregados estáveis com diâmetro entre 1 e 10 mm, que contenham quantidade suficiente de poros com $75 \mu\text{m}$ de diâmetro (solo com boa aeração) e poros entre 0,2 e $30 \mu\text{m}$ para retenção de água, facilitando o crescimento de raízes e microrganismos.

O tamanho dos agregados e o estado de agregação podem ser determinados a partir de diferentes metodologias. Os parâmetros mais comuns para avaliação da agregação de um solo são, conforme Passarin et al. (2007): diâmetro médio geométrico (DMG), o qual estabelece a classe de tamanho de agregados de maior ocorrência; diâmetro médio ponderado (DMP), o qual mede a porcentagem de agregados de maior tamanho, retidos em cada peneira

(SOLER, 2003); o índice de estabilidade de agregados (IEA), o qual representa uma estimativa da agregação do solo como um todo, e não considera a distribuição por classes de agregados. Vale a ressalva de que estes índices são obtidos a partir do tamisamento das amostras de solo, ou seja, através do fracionamento do solo com uso de peneiras.

Portanto, os agregados são estruturas formadas pela união das cargas elétricas das partículas coloidais do solo, as quais sofrem interferência de processos físicos, químicos e biológicos. A qualidade e quantidade de argila do perfil são determinantes na agregação, sendo que, quanto maior seu teor no solo, maior a estabilidade dos agregados. Outro fator que aumenta a estabilidade é a presença de raízes, bem como hifas de fungos micorrízicos. Os sistemas de uso do solo que preservam os agregados de maior tamanho garantem maior estabilidade ao perfil, pois suportam maior carga sem sofrer deformações.

3.2. RELAÇÃO ENTRE MATÉRIA ORGÂNICA E AGREGADOS DO SOLO

A matéria orgânica do solo (MOS) está intimamente ligada à agregação. Estes compostos orgânicos são importantes agentes cimentantes das partículas do solo, tanto minerais quanto orgânicas, além disso, servem de fonte energética para a atividade microbiana, aumentando assim, a estabilidade dos agregados.

Barreto et al. (2008) afirmaram que dependendo do sistema de uso agrícola adotado, o teor de matéria orgânica dos solos pode ser alterado com maior ou menor intensidade, sendo, portanto, um dos atributos mais sensíveis a mudanças provocadas pelo manejo. Outros fatores podem alterar o teor de matéria orgânica, dentre eles, a umidade.

Kohler et al. (2009), estudando culturas de alface na região do Mediterrâneo, afirmaram que o déficit hídrico causou uma redução significativa no conteúdo da biomassa seca, bem como no conteúdo de água das plantas.

Bastos et al. (2005) comentaram que os materiais orgânicos, envolvidos na estabilidade dos agregados, podem ser divididos em três grupos básicos, quanto a sua resistência a degradação: os transicionais, os temporários e os persistentes. O primeiro grupo corresponde a substâncias polissacarídicas, rapidamente biodegradadas, aliadas à estabilidade de macroagregados do solo. Os temporários são caracterizados por hifas de fungos e raízes, também associados aos macroagregados. Os materiais orgânicos desse grupo permanecem no perfil por um maior período de tempo, até serem biodegradados. Por fim, os persistentes são matérias humificadas, associados a óxidos de Fe e Al, recalcitrantes e importantes na formação dos microagregados do solo.

Abiven (2008), avaliando o efeito da adição de material orgânico em solos, concluiu que um controle adequado da adição de MOS, proporciona um aumento considerável na estabilidade de agregados, reduzindo possíveis processos erosivos. Porém, este aumento só é possível se for levado em consideração, também, a qualidade e a quantidade desse material orgânico introduzido. O autor cita como exemplo, os compostos lábeis e o mucigel, representando a fração da matéria orgânica de forte influência na agregação, enquanto compostos recalcitrantes, como a lignina, apresentando efeito insignificante ou quase nulo na estabilidade dos agregados.

Passarin et al. (2007), caracterizando um Latossolo Vermelho distroférico típico submetido a diferentes doses de vinhaça, em Londrina - PR observaram que o material orgânico presente na vinhaça adicionada ao solo, não foi suficiente para promover a agregação. Outra hipótese levantada pelos autores seria a de que este material orgânico poderia ser altamente biodegradável, não agindo como um agente cimentante das partículas do solo. Portanto, fica evidente a importância de se avaliar a quantidade e a qualidade da MOS, a fim de promover melhorias na agregação do solo.

A adição de material orgânico, aliada ao não-revolvimento do solo, confere maior preservação de sua estrutura. Vezzani e Mielniczuk (2009) ainda complementam que o não revolvimento garante maior qualidade ao solo, por não quebrar as estruturas físicas formadas nem favorecer a perda de nutrientes e de material orgânico.

Almeida et al. (2008), avaliando os atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho, em rotação de culturas na região de Selvíria - MS, constataram que no sistema de semeadura direta, apesar da degradação das propriedades físico-químicas da camada superficial, houve um aumento do pH e do teor de matéria orgânica, bem como um aumento em produtividade.

Brançaliao e Moraes (2008), estudando a semeadura do milho, concluiu que a permanência da fitomassa, aliada ao corte apenas no primeiro florescimento, permitiu maior incremento das frações menos estáveis da matéria orgânica, além de melhor cobertura, menor densidade do solo e maior porosidade total, aumentando, assim, a estabilidade dos agregados.

Veiga et al. (2009) também corroboraram o fato de que com a manutenção dos restos culturais no solo, a estabilidade dos agregados na camada superficial aumenta. Estes autores ainda associaram maior estabilidade a um maior estoque de material orgânico no solo.

Wick et al. (2009), avaliando a dinâmica da agregação e da matéria orgânica de um solo em recuperação natural, constataram que houve um aumento no teor de macroagregados com o maior acúmulo de material orgânico no solo. Ainda, esse solo apresentou características

estruturais semelhantes a um ecossistema de mata nativa após um período de 10 a 15 anos de recuperação.

A manutenção da matéria orgânica se faz imprescindível em solos pobres, com baixíssima capacidade de troca de cátions (CTC). Oliveira (2008) ressaltou que solos com baixa troca de cátions podem apresentar carga líquida positiva, devido ao caráter anfótero dos óxidos. Assim, o material orgânico nesses solos tem a função de elevar a CTC, pois sua elevada carga líquida negativa se contrapõe às cargas positivas, resultando em uma carga líquida final negativa no perfil.

O carbono orgânico tem uma participação essencial na formação e estabilidade dos agregados, sendo a principal fração da MOS. Souza et al. (2008) concluíram que o estoque de carbono orgânico no solo foi considerado como um dos mais eficientes indicadores de qualidade do manejo do sistema.

Salton et al. (2008), avaliando a estabilidade de agregados em sistemas agropecuários do Mato Grosso do Sul, corroboraram a idéia de que a estabilidade de macroagregados está intimamente ligada ao teor de carbono orgânico no solo. Segundo estes autores, o aporte de C confere um aumento nos macroagregados do solo, que podem não ser estáveis. Porém, os agentes cimentantes ligados a microrganismos, liberação de substâncias de raízes, entre outros fatores, garantem maior estabilidade a essas estruturas. Wendling et al. (2005), também concluíram que, o carbono orgânico apresenta boa correlação com o índice de estabilidade de agregados.

Oliveira et al. (2008), em estudos de caracterização física e de carbono orgânico de solos, sob diferentes tipos de uso da terra, na região de Barra do Choça - BA, observaram que o aumento no teor de carbono orgânico promove o aumento no número de cargas negativas e, por conseguinte, maior dispersão das argilas. Estes autores constataram que o aumento de 1dag/kg de C eleva a CTC em, aproximadamente 123%, em subsuperfície, enquanto que em superfície, este aumento é de 35%. O menor incremento da CTC em superfície se deve a uma maior floculação do C.

Quanto ao balanço de carbono orgânico, Costa et al. (2008), em estudos sobre estoque de carbono e emissões de CO₂, influenciados por sistemas de manejo no sul do Brasil, concluíram que sistemas de plantio direto, associado a culturas que incorporam resíduos vegetais ricos em C e N, promovem balanço positivo de C no solo. Ainda, o plantio convencional, e plantio direto aliado a culturas de baixa incorporação de C e N, promovem balanço negativo de C no solo.

Assim, a matéria orgânica é imprescindível na agregação do solo e seu controle deve ser feito de maneira a garantir maior estabilidade aos agregados. Deve-se atentar para a degradabilidade desse material, sendo que compostos recalcitrantes não tem influência na agregação. O não revolvimento desse material confere ao solo maior qualidade, além de melhor cobertura, menor densidade do solo e maior porosidade total, que aumenta a estabilidade dos agregados. O carbono orgânico é fundamental na agregação, aumentando a porcentagem de macroagregados, além de promover aumento na carga líquida negativa do solo, aumentando assim o contato e posterior formação das estruturas.

3.3. AGREGADOS DO SOLO E MICRORGANISMOS

O solo pode ser considerado um dos maiores reservatórios de microrganismos existentes, e, nesse contexto, a comunidade microbiana possui um papel fundamental, influenciando os mais importantes processos do solo, sobretudo, na formação e estabilidade de agregados.

Essa seção faz uma explanação sobre os principais processos microbianos que ocorrem no solo, bem como estabelece uma estreita relação entre microrganismos e a formação e estabilidade dos agregados.

Os microrganismos exercem variadas funções no solo, sobretudo, atuam na decomposição do material orgânico, participando, então, de forma ativa na ciclagem de nutrientes.

Souza et al. (2008), estudando os estoques de carbono total e fósforo da biomassa microbiana ressaltaram que os microrganismos são considerados compartimentos centrais de C no solo e, também, podem funcionar como compartimentos de reserva de nutrientes, dentre eles o P orgânico, além de atuarem como catalisadores na decomposição do C orgânico. Ainda concluíram que, a biomassa microbiana apresentou relação inversa com a intensidade de pastejo, e direta com a massa de raízes, sendo que o P microbiano aumentou com a diminuição do pastejo.

Baretta et al. (2008) destacaram a importância de se quantificar o carbono da biomassa microbiana (CBM), analisando, também, sua respiração basal (C-CO₂) e, relações tais como o quociente metabólico (qCO₂), na determinação da dinâmica da matéria orgânica no solo, bem como suas relações. Esses autores, trabalhando com araucárias naturais e reflorestadas, concluíram que o parâmetro CBM foi o mais sensível na discriminação e separação das áreas de estudo, seguido pela respiração basal.

O parâmetro microbiano qCO_2 é fundamental na determinação do grau de estresse da comunidade microbiana no solo. Porém, como afirmam Maly et al. (2009), outros fatores podem, também, influenciar no seu valor e, não somente o estresse. Estes fatores poderiam ser, por exemplo, a competição dos microrganismos com raízes de plantas ou, ainda, falta de nutrientes essenciais.

Hungria et al. (2009), em estudos sobre a atividade microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo, observaram que o aumento da atividade microbiana está intimamente ligado à deposição de material orgânico e a processos de fixação biológica e colonização micorrízica. Esta ligação entre atividade microbiana e acúmulo de material orgânico foi o foco dos estudos de Carvalho et al. (2008). Esses autores, trabalhando com serapilheira de espécies de pinus (*T. ivorensis* e *P. elliottii*), concluíram que, a atividade microbiana foi maior nos substratos de serapilheira, os quais foram observados maior acúmulo (*P. elliottii*).

Assim como o acúmulo de material orgânico interfere no metabolismo da comunidade microbiana, a qualidade desse material também deverá ser levada em consideração. Caravaca et al. (2006) observaram que a adição de material orgânico advindo de sistemas de esgotos, com considerável teor de metais pesados, promoveu a diminuição significativa na atividade microbiana, afetando negativamente em especial a atividade enzimática da urease, protease-BAA e β -glucosidase.

Estudando as propriedades bioquímicas e as modificações na qualidade do solo, como consequência do manejo intensivo, Paz-Ferrero et al. (2009) encontraram menores valores para a atividade microbiana em pastagens plantadas, quando comparados a pastagens nativas. Os autores concluíram que o baixo teor de matéria orgânica encontrado nas pastagens nativas, comparado ao das plantadas, foi o responsável por essa mudança metabólica da comunidade microbiana.

Kohler et al. (2009), estudando solos semi-áridos na Espanha, região do Mediterrâneo, verificaram que sob condições de déficit de umidade, tanto a biomassa quanto a atividade microbiana sofrem redução. Entretanto, alguns microrganismos, como certos grupos de bactérias, podem desenvolver estruturas capazes de resistir às condições de estresse.

Quanto à respiração basal, Carvalho et al. (2008), avaliando a atividade microbiana de solo e de serapilheira de espécies de Pinus, afirmaram que o aumento nas taxas de respiração basal inferem, em curto prazo, maior disponibilidade de nutrientes para as plantas e, a longo prazo, a perda de carbono orgânico para a atmosfera.

Amado et al. (2007), avaliando a qualidade de solos arênicos e campos naturais do Rio Grande do Sul, verificaram que a respiração em um Argissolo Vermelho distrófico arênico,

com menor proporção de argila, foi considerada muito baixa, se comparada a de solos arênicos com maior proporção de argila. Em contrapartida, o campo natural obteve valor de respiração considerado normal. Vale a ressalva de que os solos arênicos não receberam adição de resíduos vegetais por 10 anos. Os autores comentaram que, a expressiva redução no estoque de carbono orgânico total pôde ter sido a causa dessa redução na atividade microbiana.

Os atributos microbianos estão diretamente relacionados aos atributos químicos. Em estudos com florestas de araucárias, naturais e reflorestadas, Baretta et al. (2008), através de análises multivariadas de atributos microbiológicos e químicos do solo, concluíram que 52% da variação total dos atributos microbianos pode ser explicada pela variação dos atributos químicos. Porém, apenas 36% da variação total dos atributos químicos podem ser explicadas pelos atributos microbianos.

Dufranc et al. (2004), relacionando agregação do solo com os atributos físicos, químicos e microbiológicos, em dois latossolos sob plantio direto, no Estado de São Paulo, concluíram que a comunidade bacteriana se apresentou como o principal agente agregador dos solos estudados. Foram feitos estudos com comunidades fúngicas, porém estes microrganismos foram ineficientes na agregação do solo. Entretanto, Abiven (2008), revisando a literatura sobre influência de microrganismos na agregação, destacou que geralmente os fungos correlacionam-se melhor à agregação do que as bactérias.

Caesar-Tonthat et al. (2006) observaram que grupos de bactérias, mais especificamente os gêneros *Stenotrophomonas* e *Sphingobacterium*, apresentaram grande habilidade de estabilizar os agregados do solo e aumentar a coesão entre os mesmos.

Cordeiro et al. (2005), avaliando dois tipos de solo de cerrado, ressaltaram a importância da associação entre raízes das plantas e micélio de fungos, principalmente em solos bastante arenosos, como é o caso de Neossolos Quartzarênicos. Tal associação promove melhorias na estruturação e, conseqüentemente, na agregação do solo, contribuindo assim para a sua conservação.

Estudando o efeito da inoculação micorrízica na melhoria da estabilidade de agregados, em solo cultivado com *Juniperus oxycedrus*, Caravaca et al. (2006) observaram um aumento significativo na estabilidade dos agregados, seis meses após a inoculação de um combinado de espécies de fungos micorrízicos e materiais orgânicos. Esses autores apontaram que a ação das hifas de fungos e raízes de plantas, capturando as partículas de solo, aliada a ação cimentante dos polissacarídeos são os responsáveis pela maior estabilidade dos agregados.

Nóbrega et al. (2001) também avaliaram o efeito da inoculação de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) sobre a agregação do solo, incluindo análise de outros atributos tais como nível de fósforo e histórico de uso da terra. Os autores concluíram que a inoculação propiciou maior estabilidade aos agregados. Esse maior grau de estabilidade dos agregados esteve condicionado ao nível de P no solo e ao histórico de uso, sendo que a presença de P promoveu, indiretamente, maior comprimento total de hifas e, conseqüentemente, maior agregação.

Em solos semi-áridos do Mediterrâneo, Kohler et al. (2009), estudaram o efeito da inoculação, tanto de bactérias promotoras de crescimento, quanto de fungos micorrízicos arbusculares, na estabilidade de agregados. Os autores concluíram que, estes organismos, em condições de boa drenagem, promoveram o crescimento de plantas, bem como foram responsáveis pelo aumento nos níveis de CO₂, o que implicou no aumento da estabilidade dos agregados.

Estudando a ocorrência e a diversidade de FMA em culturas armadilha sob diferentes usos de solo na Amazônia, Leal et al. (2009) observaram que estas espécies esporulam com maior abundância em sistemas sob interferência antrópica do que em solos de floresta nativa. Zornoza et al. (2009) afirmaram que o teor de matéria orgânica parece ser o principal agente responsável pela diferença, em termos de estruturação da comunidade microbiana.

Portanto, os microrganismos são grandes compartimentos de carbono no solo além de atuarem na degradação do material orgânico. O aumento na deposição da MOS no solo está associado a um aumento da atividade microbiana. Em contrapartida, a perda de carbono orgânico para a atmosfera aumenta a respiração basal dos microrganismos, em longo prazo. A associação de raízes de plantas com hifas de fungos micorrízicos garante melhor estruturação para o solo, promovendo o aumento da agregação. A prática controlada da inoculação de fungos micorrízicos é benéfica, promovendo o crescimento de plantas, aumentando o estoque de carbono e, conseqüentemente, a estabilidade dos agregados.

3.4. AGREGADOS E SISTEMAS DE CULTIVO

Essa seção aborda aspectos de manejo sustentável do solo bem como apresenta uma relação entre os agregados do solo e os diferentes sistemas de cultivo existentes, na busca de compreender melhor suas interações físicas, químicas e microbiológicas, essenciais à melhoria da qualidade do solo.

O manejo do solo tem grande impacto em sua qualidade, visto que afeta direta ou indiretamente suas propriedades químicas, físicas e biológicas. Portanto, a escolha de um

sistema sustentável de manejo é de fundamental importância, garantindo maior conservação do ambiente edáfico, e de seus processos e transformações.

Os sistemas de cultivo do solo, geralmente, aumentam as taxas de oxidação da MOS, facilitando o ataque de microrganismos. Entretanto, alguns sistemas, como os conservacionistas, por exemplo, possibilitam maior proteção e preservação desse material orgânico, promovendo, assim, maior estabilidade aos agregados (PASSOS et al. , 2007).

Estudando o comportamento dos índices de estabilidade dos agregados (IEA) em áreas de mata nativa, pastagem e cafezal (mecanizado e não-mecanizado), Oliveira et al. (2008) concluíram que a magnitude dos efeitos negativos causados pelo uso do solo na agregação aumentou no sentido mata-pastagem-cafezal. Os valores de IEA encontrados para mata nativa foram de, aproximadamente 80%, contra 77% nas áreas de pastagem e 67% nas áreas de cafezal. Os valores de DMP também acompanharam o mesmo sentido de decréscimo. Portanto, em áreas nativas, geralmente, são encontradas as melhores condições para o crescimento e desenvolvimento dos vegetais.

Lima et al. (2008) comentaram que a concentração de agregados de maior tamanho nos ecossistemas de mata se devem à maior quantidade de matéria orgânica e de raízes, que contribuem para a aproximação das partículas do solo.

Calonego e Rosolem (2008), comentando sobre a estabilidade de agregados do solo após manejo com rotação de culturas (soja/aveia/milho/triticale), verificou que a ausência de plantas de cobertura, aliadas a compactação com escarificador, diminui expressivamente a estabilidade dos agregados, na camada superficial. Essa desestruturação é recuperada com a rotação em plantio direto por um período de três anos consecutivos.

Comparando sistemas convencionais e de plantio direto, com campos nativos, Lima et al. (2008) confirmaram que em solos sem interferência antrópica, foram encontrados menores valores de densidade do solo, bem como maior condutividade hidráulica, macroporosidade e agregação. Borges et al. (2003) e Wendling et al. (2005) também concluíram que os sistemas que envolveram cultivo do solo apresentaram menores valores para a estabilidade dos agregados.

Quanto menor a densidade do solo, maior é a sua capacidade de agregação. Spera et al. (2009) corroboraram essa afirmativa, ao estudar solos sob pastagens perenes e pastagens/lavouras anuais. Estes autores verificaram que as pastagens perenes apresentaram menor densidade do solo e maior porosidade e macroporosidade na camada superficial. Isto aumenta a aeração, infiltração de água e, conseqüentemente, a agregação.

Avaliando a dinâmica do carbono orgânico em diferentes sistemas de manejo do solo, Bona et al. (2006) concluíram que em sistemas de plantio direto, a adição de material orgânico em superfície contribuiu para o seu acúmulo nas camadas mais superficiais. Já no plantio convencional, as operações de preparo resultaram em acúmulo de material orgânico em subsuperfície. Portanto, não houve uma mudança no estoque de carbono do solo e sim, uma diferença no sentido vertical.

Entre os diferentes sistemas de cultivo utilizados na agricultura, o plantio conservacionista aparece como o mais sustentável em termos de manejo. Bertol et al. (2004) ressaltaram que em sistemas convencionais, as alterações nas propriedades físicas, químicas e microbiológicas são mais pronunciadas, comparadas às do sistema conservacionista de manejo. Isto se deve, principalmente, ao maior revolvimento do solo, que altera sua densidade, volume e distribuição de poros, infiltração e aeração, que, em conjunto, influenciam à erosão hídrica e o crescimento e desenvolvimento da vegetação.

O sistema de plantio direto, por apresentar menor revolvimento da camada superficial do solo, favorecendo assim maior acúmulo de material orgânico, apresenta-se como um dos mais indicados, em termos de sustentabilidade agrícola. Wendling et al. (2005), avaliando sistemas de plantio direto, convencionais e de mata nativa concluíram que este último apresentou maior estabilidade dos agregados, quando comparados aos demais sistemas. Ainda, sistemas de plantio direto apresentaram maior estabilidade, quando comparados aos sistemas convencionais.

Almeida et al. (2008) observaram que em um sistema de semeadura direta de milho, após três anos de implantação, houve maior degradação da camada superficial do solo, porém, houve acréscimo no teor de matéria orgânica e no pH, bem como maior produtividade, se comparado ao plantio convencional.

Borges et al. (2003), em Gleissolo na região de Pelotas/RS, submetido a sistemas de cultivo e culturas, verificaram que os tratamentos que envolveram sucessão e rotação de culturas em plantio direto, foram os que mais contribuíram para a obtenção de macroagregados no solo.

Marcolan (2006), analisando os atributos físicos de um Argissolo, no sul do Brasil, observaram que, após quatro anos da implantação do sistema de plantio direto, houve um retorno dos atributos físicos do solo à condição original. Ainda, observaram que, no sistema convencional, houve uma melhoria da porosidade do solo, porém, a estabilidade dos agregados foi reduzida. Essa redução foi relacionada ao menor teor de carbono orgânico nesse sistema.

Salton et al. (2008) concluíram que em sistemas de manejo com pastagens permanentes, ou em rotação com lavoura em plantio direto, houve maior estabilidade de macroagregados, se

comparados a sistemas de lavouras ou lavouras em rotação com pastagens por ciclos maiores que três anos. Os autores ressaltam que gramíneas apresentam um abundante sistema radicular, o que favoreceu uma maior estabilidade, logo após sua implantação.

O poder de agregação das gramíneas na estabilidade dos agregados foram confirmados por Wendling et al. (2005), os quais verificaram que espécies de gramíneas constituíram-se em uma nova opção para a formação e estabilidade dos agregados. Oliveira et al. (2008) observaram que sistemas de pastagens apresentaram valores de IEA de 77% no horizonte A, valores menores que os encontrados na mata. Porém, esse mesmo horizonte apresentou 25,3% de agregados na faixa de 4,76-2,00 mm, contra 17,7% da área de mata, inferindo-se que, em superfície, a pastagem garantiu maior teor de macroagregados, aumentando a agregação.

Analisando a dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em uma região fisiográfica da Depressão Central do Rio Grande do Sul, Wohlenberg et al. (2004) corroboraram a influência diferenciada das seqüências de culturas na agregação do solo, considerando também, outros fatores, como a sazonalidade e o tempo de estabelecimento das culturas. Os autores observaram que a sucessão de gramíneas com leguminosas foi a que apresentou maior agregação.

Almeida et al. (2008) comentaram sobre a sucessão gramíneas/leguminosas, ressaltando a importância de se incentivar essa prática, pois, a simbiose entre as raízes das leguminosas e bactérias do gênero rizóbio garantem estoque de nitrogênio suficiente para o crescimento da biomassa vegetal.

Costa et al. (2008), em estudos sobre o estoque de carbono orgânico no solo, influenciados por sistemas de manejo no sul do Brasil, também verificaram que em plantio direto, o balanço positivo de carbono no solo é potencializado quando da utilização de leguminosas como planta de cobertura, as quais propiciam quantidade de nitrogênio suficiente para que, em sucessão, as gramíneas possam apresentar maior produção de biomassa.

Assim, a escolha do manejo de solo adequado garante maior preservação do seu sistema edáfico. Deve-se optar por sistemas de menor revolvimento de solo e que proporcionem maior estoque de material orgânico no perfil, o que reduz a densidade do solo e aumenta sua porosidade total. Um solo com boa qualidade física proporciona um ambiente ótimo para o desenvolvimento de microrganismos que atuarão na ciclagem de nutrientes e na decomposição do material orgânico, bem como na melhoria da estruturação dos solos, estimulando a formação e posterior estabilidade dos agregados do solo.

4. METODOLOGIA

4.1. HISTÓRICO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo pertence à Fazenda Pomária, localizada no município de Maria da Fé - MG, região inserida nas Terras Altas da Mantiqueira (Figura 4.1). A escolha dessa área foi feita com base nos diferentes sistemas de uso do solo encontrados na propriedade, garantindo assim uma maior representatividade do manejo do solo da região.

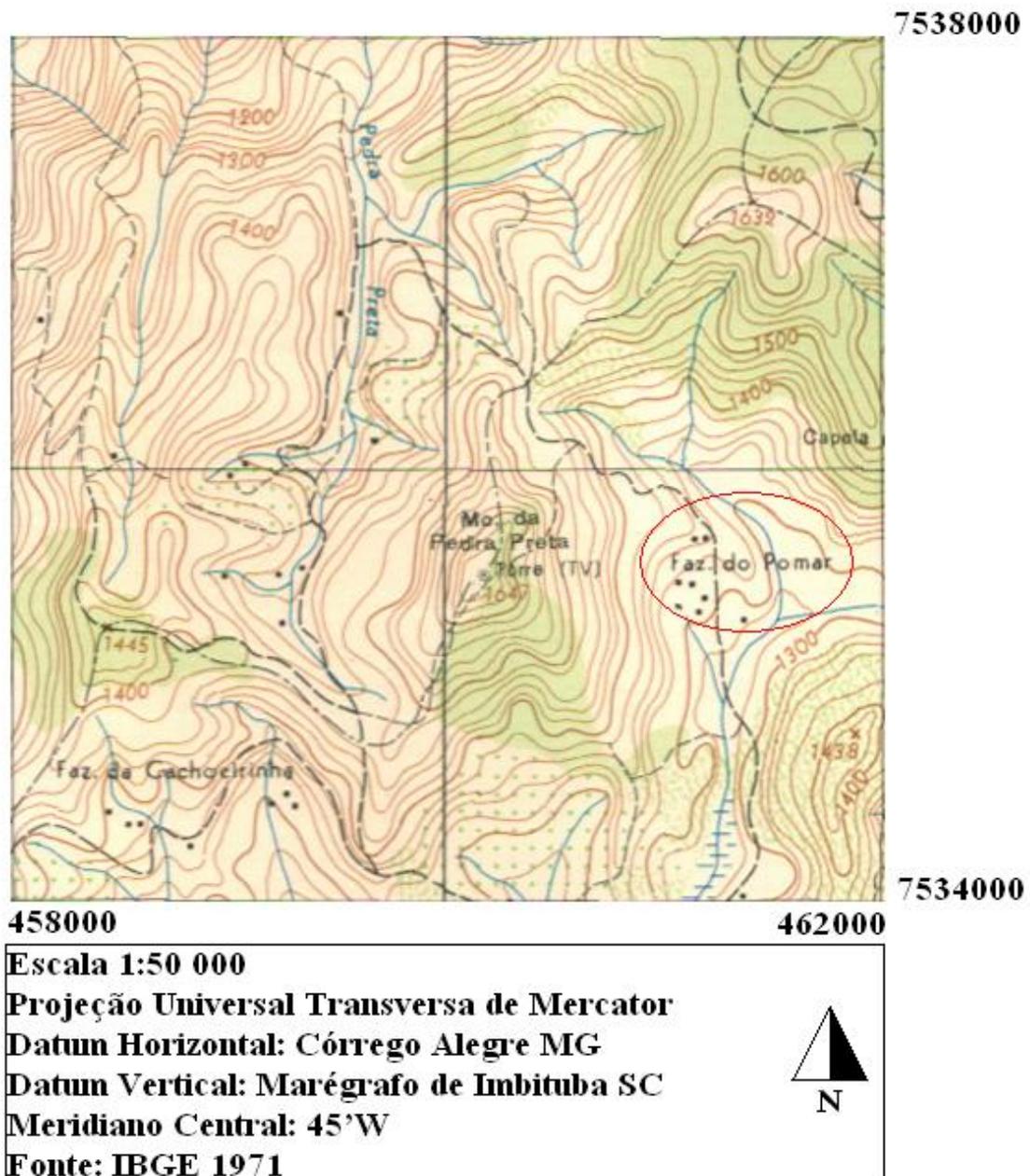


Figura 4.1: Destaque da carta do município de Itajubá-MG, contemplando a localização da Fazenda Pomária, área rural do município de Maria da Fé - MG (Fonte: IBGE - Carta SF23YB III-3).

O mapa de uso e ocupação de solo da região do estudo, confeccionado a partir do software *Google Earth*, enfatizando os cinco sistemas de uso da terra selecionados, encontra-se na Figura 4.2.

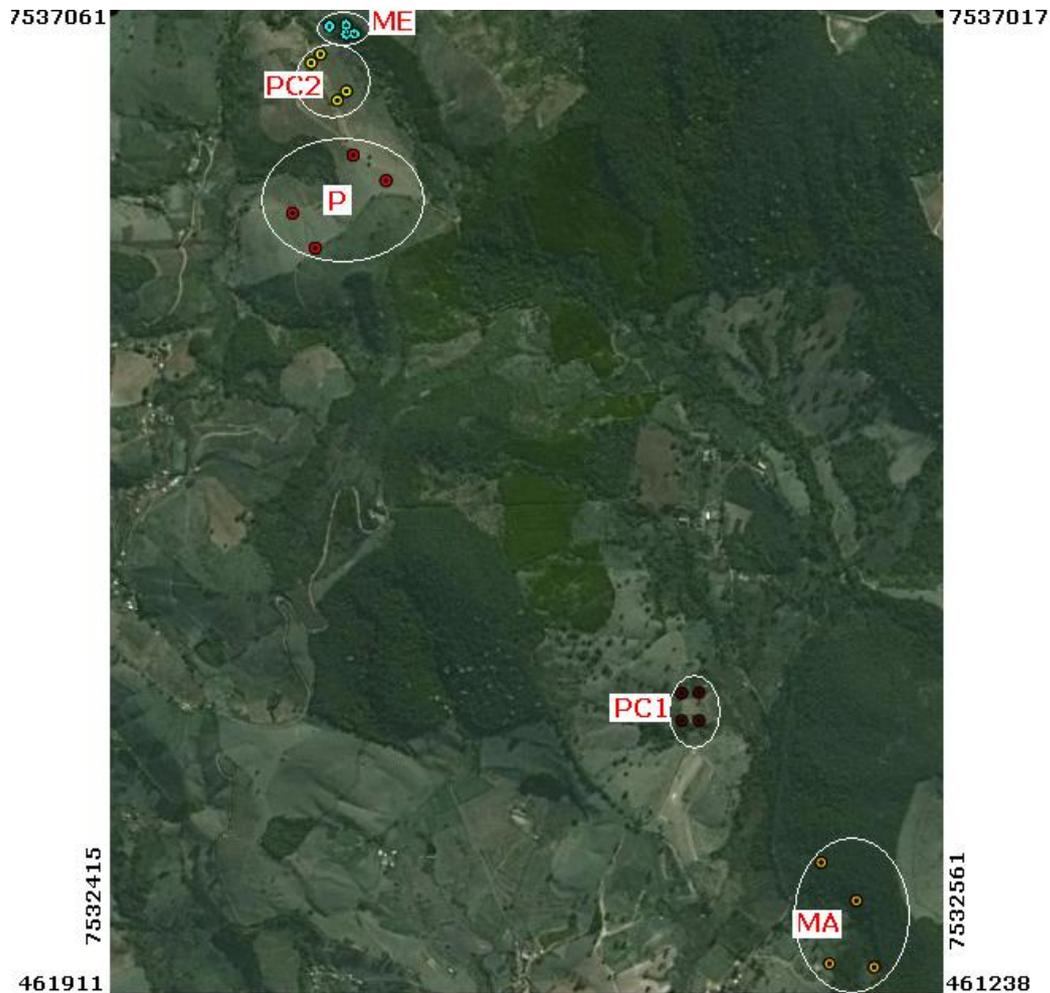


Figura 4.2: Mapa de uso do solo contemplando os sistemas de manejo da terra adotados no estudo, na Fazenda Pomária, localizada na área rural do município de Maria da Fé - MG. Consulta em: 07/04/10. a) PC1: Plantio convencional de cenoura; b) PC2: Plantio convencional de abóbora; c) P: Pasto; d) ME: Mata nativa com araucária; e) MA: Mata de eucalipto.

O clima da região é do tipo subtropical úmido Cwa, conforme classificação de Köppen, sendo a temperatura média de 7,3 °C no mês mais frio e a média de 23,4 °C no mês mais quente, com verão chuvoso e inverno seco (INMET, 2007). A precipitação média anual é de 1237 mm. O bioma predominante é o de Mata Atlântica - Floresta Ombrófila Mista – sendo o Latossolo Vermelho Amarelo, a classe de solo predominante na região.

Foram selecionados os seguintes sistemas de uso da terra: plantio convencional de cenoura (PC1); plantio convencional de abóbora (PC2); pastagem (P); mata nativa com araucária (MA); mata de eucalipto (ME) (Figura 4.3).

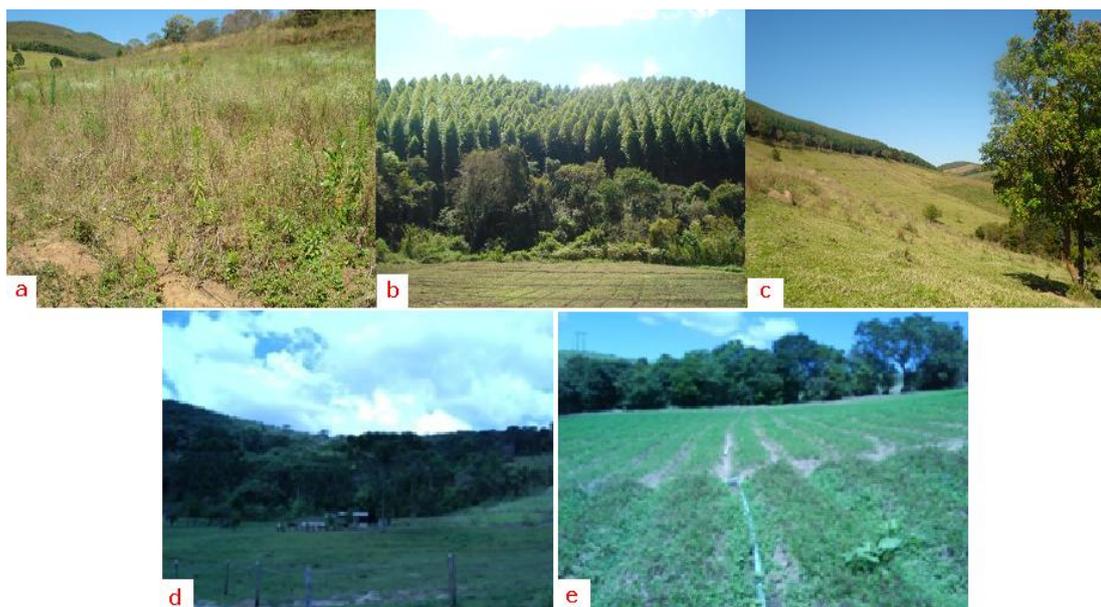


Figura 4.3: Sistemas de uso da terra selecionados para o estudo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé - MG. a) Plantio convencional de abóbora; b) Mata de Eucalipto; c) Pasto; d) Mata nativa com araucária; e) Plantio convencional de cenoura.

As características inerentes a cada sistema de uso da terra adotado no estudo estão apresentadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Caracterização dos sistemas de uso da terra selecionados para o estudo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé – MG. Adaptado de Flauzino (2008).

USO DA TERRA	CARACTERÍSTICAS
Plantio convencional de cenoura	Plantio iniciado em março de 2009, realizado em leiras. Uso de maquinários, como arado de disco e gradagem. Calagem prévia. Uso de fertilizantes e agrotóxicos: 1000 kg ha ⁻¹ de adubo NPK 12-6-12 nas leiras; 300 kg ha ⁻¹ de adubo NPK 7-14-28 em cobertura; Herbicida Afalon (2 L ha ⁻¹); Inseticida Tamaron 5 L ha ⁻¹ .
Plantio convencional de abóbora	Plantio iniciado em agosto de 2008, realizado em covas. Uso de maquinários, como arado de disco e gradagem. Calagem prévia. Uso de fertilizantes e agrotóxicos: 500 kg ha ⁻¹ de adubo NPK 12-6-12 nas leiras; 300 kg ha ⁻¹ de adubo NPK 7-14-28 em cobertura; Herbicida Roundup (15L ha ⁻¹); Inseticida Tamaron 5 L ha ⁻¹ .
Pasto	Pastagem natural com idade de, aproximadamente 10 anos. Área de, aproximadamente, 10 ha.
Mata nativa com araucária	Floresta heterogênea com idade de, aproximadamente 40 anos, onde foi observada grande quantidade de serrapilheira e material orgânico em decomposição. Área de, aproximadamente, 15 ha.
Mata de eucalipto	Plantio destinado à fabricação de papel. A plantação foi feita seguindo espaçamento de 2x3 m, com idades variadas. Área de, aproximadamente, 16 ha.

4.2 AMOSTRAGEM E DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS

A amostragem para a realização das análises físicas, químicas e microbiológicas foi realizada em março de 2009, conforme os seguintes passos:

- Cada área foi subdividida em quatro transectos de aproximadamente 16 x 20 m, constituídos por uma mesma cobertura vegetal a fim de garantir sua homogeneidade;
- Em cada transecto, foram coletadas sete subamostras, deformadas, na profundidade de 0-20 cm. As subamostras foram misturadas de forma homogênea, formando uma amostra composta (Figura 4.4);
- Para a coleta das subamostras deformadas foi utilizado o enxadão. Vale a ressalva de que para a amostragem das raízes foi realizada outra coleta de solo, no mesmo período e profundidades, com a utilização de enxadão.

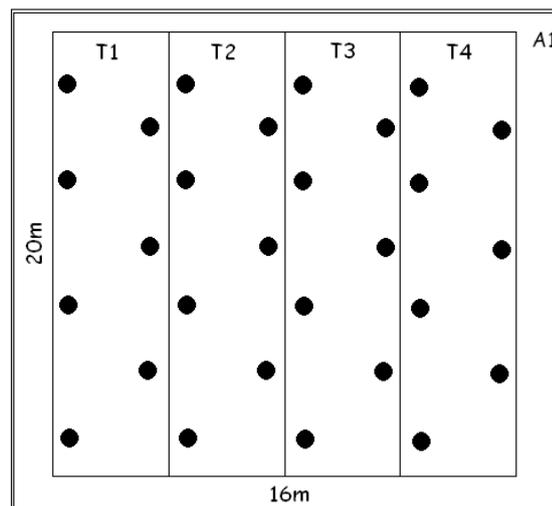


Figura 4.4: Croqui, evidenciando a metodologia utilizada para a amostragem de solo, em cada sistema de uso da terra, na Fazenda Pomária, Maria da Fé - MG. T1: transecto 1; T2: transecto 2; T3: transecto 3; T4: transecto 4; A1: área de estudo.

Foram utilizadas 20 amostras, tanto para as análises físicas quanto para as microbiológicas. Vale a ressalva de que as amostras submetidas às análises microbiológicas passaram por um conjunto de peneiras, para a separação mecânica dos agregados do solo, resultando em 100 amostras.

Para caracterização química, cinco amostras de solo, uma de cada área, foram secas e peneiradas em malha de 2 mm, sendo então enviadas e analisadas pelo Laboratório de Fertilidade de solo da Universidade Federal de Lavras para a análise de:

- pH em água na relação 1:2,5;

- Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1N, analisados por titulometria (EMBRAPA, 1997);
- P e K extraídos pelo método Mehlich 1 e analisados por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente (Vettori, 1969);
- S por turbidimetria (Blanchar et al., 1965);
- A matéria orgânica foi determinada por colorimetria, utilizando o método Walkley e Black, descrito em EMBRAPA (1997);

Para cada área, os seguintes parâmetros físicos e biológicos foram analisados: análise e classificação granulométrica, estabilidade de agregados via – úmida (DMG e DMP), índice de estabilidade dos agregados (IEA), densidade do solo (DS), densidade de partículas (DP), volume total de poros (VTP), biomassa (BM) e atividade microbiana (AM), quociente metabólico (qCO_2) ou estresse microbiano, contagem de micélios de fungos e densidade de raízes (DR). As análises foram desenvolvidas nos laboratórios de Microbiologia e de Solos da Universidade Federal de Itajubá. Vale a ressalva de que todas as amostras foram acondicionadas em sacos que permitissem a respiração do solo, para que as análises microbiológicas pudessem ser realizadas.

As amostras de solo coletadas, antes de serem utilizadas para determinação das análises físicas e microbiológicas, foram submetidas, respectivamente, aos seguintes processos:

- Verificação de umidade atual conforme EMBRAPA (1997);
- Secagem ao ar, por um período de 48 horas (apenas para a porção do solo submetida às análises físicas);
- Separação mecânica, com o auxílio de um agitador de peneiras, de malhas 4,0 mm - 2,36 mm – 1,18 mm - 0,600 mm – 0,300 mm – 0,150 mm (preparação das amostras para as análises microbiológicas).

4.2.1. Atributos físicos

A estabilidade de agregados foi determinada por *peneiramento úmido* (PU) conforme metodologia de EMBRAPA (1997). Para a sua avaliação, foram utilizadas amostras de solo que passaram por uma peneira de 8 mm de malha e ficaram retidas na peneira de 2 mm. Então, foram transferidos 50 g da porção retida na peneira de 2 mm, para um pré-umedecimento, a fim de que as amostras não sofressem impacto direto da água, quando submetida ao aparelho de oscilação vertical. Após esse processo, as amostras foram transferidas para um conjunto de peneiras de malhas 2,00 – 1,00 – 0,50 - 0,250 - 0,106 mm e levadas ao aparelho

de oscilação vertical, sendo agitadas por 15 minutos. Os agregados retidos em cada peneira foram transferidos para cadinhos de alumínio, devidamente tarados, e encaminhados para secagem em estufa, a 110°C, por 24 horas. Após este período, os cadinhos foram pesados (Figura 4.5).

O diâmetro médio geométrico dos agregados foi calculado a partir da expressão:

$$DMG = 10^{\frac{\sum d_i \text{LOG} Agr_i}{i=1}}$$

onde:

DMG: diâmetro médio geométrico dos agregados em mm;

d: diâmetro médio entre as peneiras;

Agr: porcentagem de agregados retidos em cada peneira.

O diâmetro médio ponderado dos agregados foi calculado a partir da expressão:

$$DMP = \sum (Agr_i / 100) * d_i$$

onde:

DMP: diâmetro médio ponderado dos agregados em mm;

d: diâmetro médio entre as peneiras;

Agr : porcentagem de agregados retidos em cada peneira.

O cálculo do índice de estabilidade dos agregados foi realizado conforme Calegari et al. (2006), a partir da expressão:

$$\left(\frac{(\text{Peso da amostra seca} - \text{wp} 25 - \text{areia})}{\text{Peso da amostra seca} - \text{areia}} \right)$$

onde:

wp25: peso dos agregados da classe < 0.25 mm;

areia: quantidade de areia da amostra seca, determinada por análise granulométrica.



Figura 4.5: Etapas da metodologia utilizada para a análise de estabilidade de agregados via - úmida. a) Pesagem da amostra de solo; b) Conjunto de peneiras; c) Agitamento das amostras; d) Agregados em cada peneira.

A densidade de partículas foi determinada a partir do *método do balão volumétrico* conforme EMBRAPA (1997) (Figura 4.6). Pesaram-se 20 gramas de TFSE, transferindo a amostra para o balão volumétrico de 50 mL, aferido. Com o auxílio da bureta, acrescentaram-se 25 mL de álcool etílico, agitando-se o balão durante 1 minuto. O conjunto ficou em repouso por 15 minutos, completando-se, posteriormente, o volume do balão com álcool etílico. O volume de álcool gasto (V_{a1}) foi anotado.

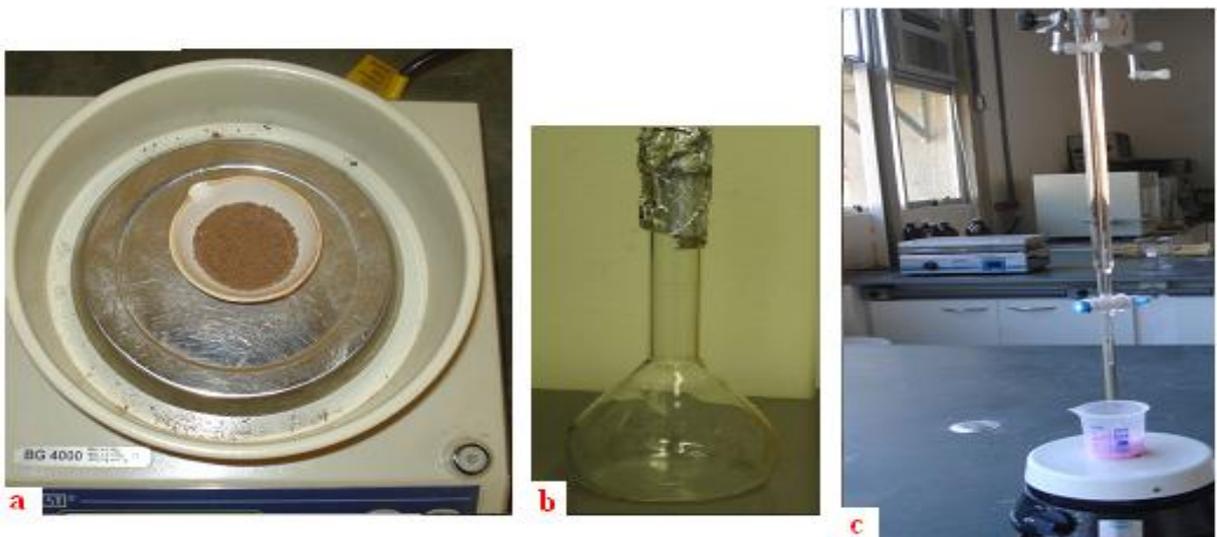


Figura 4.6: Etapas da metodologia utilizada para a análise da densidade de partículas. a) Pesagem da amostra; b) Balão volumétrico de 50 mL; c) Bureta com álcool para a titulação da amostra de solo.

A densidade do solo foi determinada em amostras com estrutura indeformada coletadas com o *Amostrador de Uhland* (BLAKE e HARTGE, 1986) (Figura 4.7).

O volume total de poros foi determinado a partir da expressão de Danielson e Sutherland (1986):

$$VTP = [1 - (D_s / D_p)]$$

onde:

VTP = volume total de poros ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)

D_s = densidade do solo (mg m^{-3})

D_p = densidade de partículas (mg m^{-3})



Figura 4.7: Etapas da metodologia utilizada para a análise da densidade do solo. a) Penetração do anel no solo; b) Retirada do anel de Uhland.

A análise de textura foi determinada conforme EMBRAPA (1997), utilizando o *Método da Pipeta*, o qual consiste na separação das frações silte/argila/areia do solo por meio de agitação mecânica com $\text{NaOH } 1 \text{ mol L}^{-1}$ e posterior decantação em conformidade com a Lei de Stokes (Figura 4.8).



Figura 4.8: Etapas da metodologia utilizada para a análise de textura. a) Peso da amostra de solo; b) Preparação para a agitação mecânica; c) Preparação para agitação mecânica; d) Agitação mecânica; e) Decantação; f) Separação da areia; g) Separação da argila.

4.2.2. Atributos biológicos

A determinação da biomassa microbiana foi feita conforme metodologia descrita por Ferreira et al. (1999), empregando-se o método da irradiação/incubação, o qual apresenta como princípio básico a eliminação de microrganismos através da irradiação eletromagnética de forno de microondas, antes da avaliação da quantidade de CO_2 liberada após incubação por 10 dias, à temperatura ambiente (Figura 4.9). Pesaram-se duas porções de solo, sendo 40 g fumigadas em microondas por 2 minutos e, posteriormente transferidas para potes de vidro transparentes e 42 g transferidas diretamente para os potes de vidro. Foi inoculado cerca de 5 mL de água em todos os potes, assim como béqueres contendo 10 mL de NaOH, sendo então lacrados e acondicionados em caixas hermeticamente fechadas por um período de 10 dias.

A atividade microbiana foi avaliada pela quantificação do CO_2 liberado durante a incubação do solo em sistema fechado, onde o CO_2 foi capturado em solução de NaOH 1 mol L^{-1} e posteriormente titulado com HCl 1 mol L^{-1} , segundo método adaptado de Anderson (1982) (Figura 4.9).



Figura 4.9: Etapas da metodologia utilizada para a análise de atividade e biomassa microbianas. a) Pesagem da amostra de solo; b) Introdução da amostra e do NaOH nos vidros; c) Amostras lacradas para posterior incubação (fumigadas e não fumigadas); d) Introdução das amostras em caixas para posterior incubação; e) Incubação por um período de 10 dias; f) Preparação para a titulação; g) Titulação com HCl.

A quantificação do comprimento de micélio total de fungos micorrízicos arbusculares (Figura 4.10) foi determinada segundo metodologia proposta por Melloni e Cardoso (1999). Pesaram-se 10 g de solo e transferiu-se para um conjunto de peneiras de 500 e 250 mm. O conjunto foi lavado com água de torneira até completar um volume de 1,5 L. Após, transferiu-se para um liquidificador, sendo agitado por 30 segundos, permanecendo posteriormente em repouso por 2 minutos. Em seguida, 1 L do sobrenadante foi transferido para uma proveta e passado por uma peneira de 45 mm. Foi transferida uma alíquota de 5 mL da porção retida na peneira para uma placa quadriculada. Os micélios foram observados em microscópio óptico, sendo contabilizados apenas os que cruzam as linhas horizontais da placa.



Figura 4.10: Etapas da metodologia utilizada para a análise de quantificação do comprimento de micélio total de fungos micorrízicos arbusculares. a) Pesagem da amostra de solo; b) Peneiramento do solo; c) Solução preparada; d) Agitamento e decantação da solução; e) Coleta da alíquota para contagem; f) Preparação da lâmina de contagem; g) Lâmina de contagem.

A separação das raízes foi feita manualmente por meio de dissolução e fracionamento do solo em água abundante e pela suspensão e peneiramento das raízes, utilizando-se peneira com abertura de 0,425 mm (Maria et al., 1999). Depois de separadas, as raízes foram lavadas e, posteriormente, secas em estufa a 60°C, por 24 h. Em seguida, foram pesadas, sendo os resultados expressos em matéria seca de raízes (mg) por massa de solo (g) (Figura 4.11).



Figura 4.11: Etapas da metodologia utilizada para a análise de densidade de raízes. a) Massa de solo em um volume conhecido; b) Lavagem do solo para separação das raízes.

4.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Adotou-se um delineamento experimental inteiramente ao acaso, representado por cinco sistemas de uso da terra, uma profundidade de amostragem e quatro repetições, resultando em 20 amostras de solo.

Os resultados das análises físicas e microbiológicas foram submetidos à análise estatística, aplicando-se o pacote *R for Windows*, sendo a diferença entre as médias comparadas pelo teste de Duncan a 5% de significância. O teste de normalidade dos erros foi realizado a partir do *Teste de Shapiro-Wilk*. A homogeneidade de variâncias foi verificada a partir do *teste de Bartlett*. Os dados não normalizados foram submetidos à *Transformação de Box Cox* e análise de resíduos feita através do *Teste de Shapiro-Wilk*. Os parâmetros microbiológicos foram submetidos à análise estatística de regressão a partir do software *Microsoft Excel*.

Os coeficientes de correlação, tanto entre os atributos do solo quanto para os sistemas de uso e as classes de agregados, foram classificados conforme Conti (2009) e as significâncias entre as correlações testadas a partir da ferramenta de regressão do software *Microsoft Excel*. Vale a ressalva de que a correlação positiva mostra que os dois eixos são diretamente proporcionais, sendo que na correlação negativa, os eixos são inversamente proporcionais. Também, a correlação não indica casualidade entre as variáveis, sendo estas verificadas através do teste de significância.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS

As correlações entre os atributos físicos e químicos do solo foram realizadas com significância de 5%. Os resultados da caracterização química estão apresentados nas Tabelas 5.1 e 5.2.

Tabela 5.1: Análise de macronutrientes, soma de bases, acidez potencial e alumínio extraível, em amostras de solo de cinco sistemas de manejo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé-MG. PC1: plantio convencional de cenoura; PC2: plantio convencional de abóbora; P: pasto; ME: mata de eucalipto; MA: mata nativa com araucária.

Áreas	P --mg dm ⁻³ --	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB
	----- cmol _c dm ⁻³ -----						
PC1	20,60	55,00	1,30	0,40	0,50	5,60	1,80
PC2	38,90	76,00	3,00	1,00	0,10	4,00	4,20
P	19,40	34,00	0,60	0,20	1,10	11,00	0,90
MA	3,10	39,00	0,10	0,10	1,70	12,30	0,30
ME	1,70	34,00	0,40	0,10	0,90	7,90	0,60

Tabela 5.2: Análise de CTC (efetiva – t; total – T), V%, m%, matéria orgânica (MO), fósforo remanescente (P-rem) e pH, em amostras de solo de cinco sistemas de manejo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé-MG. PC1: plantio convencional de cenoura; PC2: plantio convencional de abóbora; P: pasto; ME: mata de eucalipto; MA: mata nativa com araucária.

Áreas	(t) --- cmol _c dm ⁻³ ---	(T)	V	M	MO dag kg ⁻¹	P-rem mg L ⁻¹	pH em água
	-----%-----						
PC1	2,30	7,40	24,70	21,00	2,50	26,40	5,30
PC2	4,30	8,20	51,20	2,00	2,60	24,00	5,80
P	2,00	11,90	7,50	55,00	5,30	13,00	5,00
MA	2,00	12,60	2,40	85,00	3,70	17,60	4,60
ME	1,50	8,50	6,90	60,00	3,70	14,50	5,20

Os cultivos convencionais apresentaram maiores valores para os atributos P, K, Ca, Mg, SB em virtude do aporte de nutrientes proveniente da adubação para o plantio e um menor conteúdo de matéria orgânica (MO) proveniente do revolvimento do maquinário no solo.

5.1.1. Textura do solo

Os resultados de granulometria e classificação granulométrica das frações do solo, em cada área de estudo, encontram-se na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Análise e classificação de textura em amostras de solo de cinco sistemas de manejo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé - MG. PC1: plantio convencional de cenoura; PC2: plantio convencional de abóbora; P: pasto; MA: mata nativa com araucária; ME: mata de eucalipto.

<i>Sistemas de uso da terra</i>	<i>Granulometria das frações do solo (dag kg⁻¹)</i>			<i>Classificação (Triângulo Simplificado)</i>	<i>Classificação (Triângulo detalhado)</i>
	<i>Areia</i>	<i>Argila</i>	<i>Silte</i>		
PC1	57 a	18 c	24 ab	Textura Média	Textura Franco-Arenosa
PC2	53 ab	26 bc	21 ab	Textura Média	Textura Franco-Arenosa
P	50 bc	24 bc	26 a	Textura Média	Textura Franca
MA	45 cd	36 a	19 ab	Textura Média	Textura Franco-Argilosa
ME	51 b	31 ab	18 b	Textura Média	Textura Franco-Argilo-Arenosa

*Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% conforme Teste de Duncan.

Os sistemas MA e ME apresentaram os maiores valores percentuais de argila, descrita como responsável por favorecer uma maior estabilidade de agregados (ALMEIDA et al., 2008; SALTON et al., 2008; SOUZA et al., 2009). Os menores valores foram encontrados para os sistemas PC1 e PC2 e P. Esses sistemas apresentaram maior teor de areia, sendo que o P apresentou o menor valor, o que não favorece a coesão dos agregados e sua adesão, quando submetido à água.

Entretanto, a correlação entre os atributos areia e diâmetro médio geométrico dos agregados, bem como a correlação entre argila e diâmetro médio geométrico dos agregados foram classificadas como baixas ($r = 0,18^*$; $r = -0,26^*$), porém significativa. Deve-se atentar que a textura é um parâmetro indicativo e, para uma análise mais profunda sobre a estabilidade dos agregados, faz-se necessária a análise de outros fatores, em conjunto, tais como: diâmetro médio geométrico dos agregados; teor de C orgânico no solo; aspectos de manejo e clima; presença de raízes (SALTON, 2005).

5.1.2. Densidade de partículas

A densidade de partículas, em cada área de estudo, é apresentada pela Figura 5.1. Os valores encontrados para esse parâmetro variaram de 2,17 g cm⁻³ a 2,32 g cm⁻³ entre os sistemas de uso da terra estudados, valores considerados mais baixos que o valor médio

comumente encontrado em literatura, de $2,65 \text{ g cm}^{-3}$. Isso foi consequência da grande presença de matéria orgânica nos solos estudados (EMBRAPA, 1997).

O sistema P apresentou menor valor encontrado para a DP (Figura 5.1), seguido pelos sistemas MA, PC2, ME e PC1. Isso se deve ao maior teor de matéria orgânica encontrada para o pasto (Tabela 5.2). A correlação entre o atributo DP e a matéria orgânica foi significativa, classificada como negativa forte ($r = -0,77^*$). Para os demais sistemas, tanto entre ME, MA e PC2, quanto PC1, PC2 e ME, foram encontradas semelhanças estatísticas.

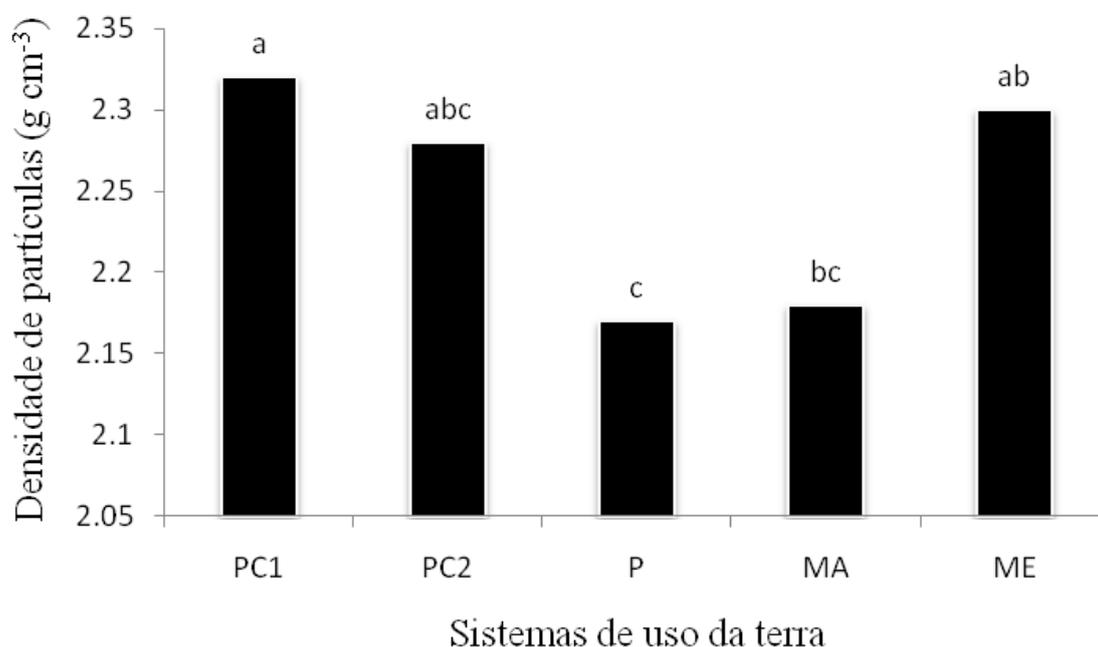


Figura 5.1: Densidade de partículas em amostras de solo de cinco sistemas de manejo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé - MG. PC1: plantio convencional de cenoura; PC2: plantio convencional de abóbora; P: pasto; MA: mata nativa com araucária; ME: mata de eucalipto.

*Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% conforme Teste de Duncan.

Os resultados do volume total de poros, em cada área de estudo, encontram-se na Figura 5.2. Os valores encontrados para esse parâmetro variaram de 0,46% a 0,62%, entre os sistemas de uso da terra estudados. O sistema ME apresentou diferença estatística dos demais, sendo o maior valor encontrado, enquanto PC1, MA e PC2, assim como PC1, PC2 e P foram estatisticamente semelhantes.

O sistema ME tem idade média de cinco anos, sendo que foi feito um revolvimento inicial no solo para o plantio e, após esse período, o sistema permaneceu sem revolvimento. Isso pode ter sido o responsável pelo maior valor de porosidade total encontrado nesse solo, pois, esse período de desenvolvimento do eucalipto promoveu maior preservação da estrutura física

do solo, garantindo menor densidade do solo, o desenvolvimento de raízes e maior estabilidade de agregados, principalmente para os macroagregados. A correlação entre VTP e densidade do solo para o estudo foi significativa, classificada como negativa forte ($r = -0,97^*$). Apesar do sistema MA não apresentar valores estatisticamente semelhantes ao sistema ME, ainda são maiores que o encontrado para o sistema P. Portanto, pode-se dizer que o não revolvimento nessa área também foi o responsável por garantir maiores valores de VTP.

O sistema P apresentou o menor valor para VTP, em decorrência de uma maior densidade do solo encontrada (Figura 5.3), que reduz o espaço poroso do solo.

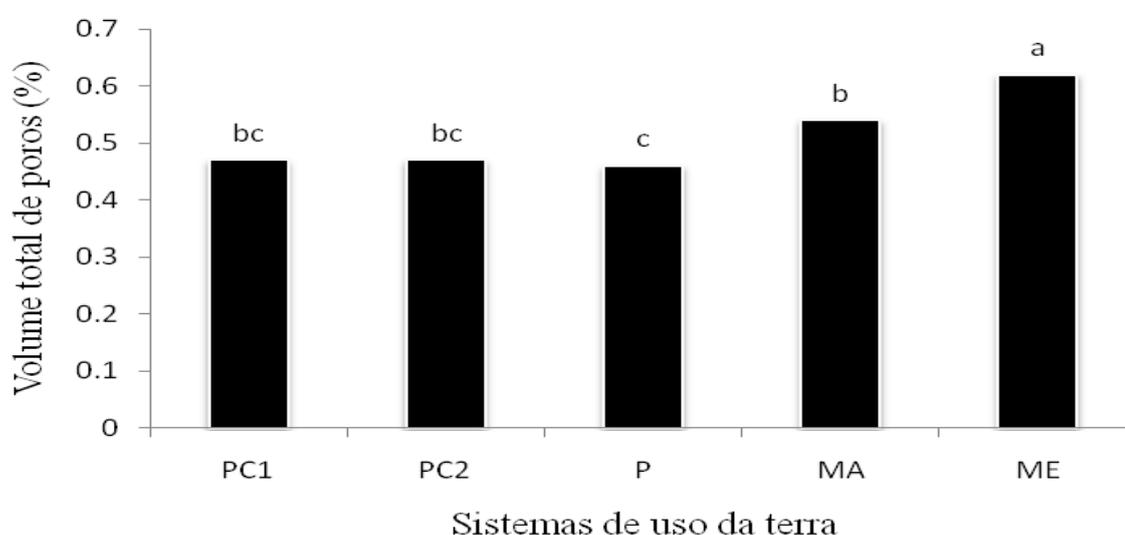


Figura 5.2: Volume total de poros em amostras de solo de cinco sistemas de manejo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé - MG. PC1: plantio convencional de cenoura; PC2: plantio convencional de abóbora; P: pasto; MA: mata nativa com araucária; ME: mata de eucalipto.

*Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% conforme Teste de Duncan.

5.1.3. Densidade do solo

A densidade do solo, em cada área de estudo, é ilustrada pela Figura 5.3. Os valores variaram de $0,88 \text{ g cm}^{-3}$ a $1,24 \text{ g cm}^{-3}$ entre os sistemas de uso da terra estudados.

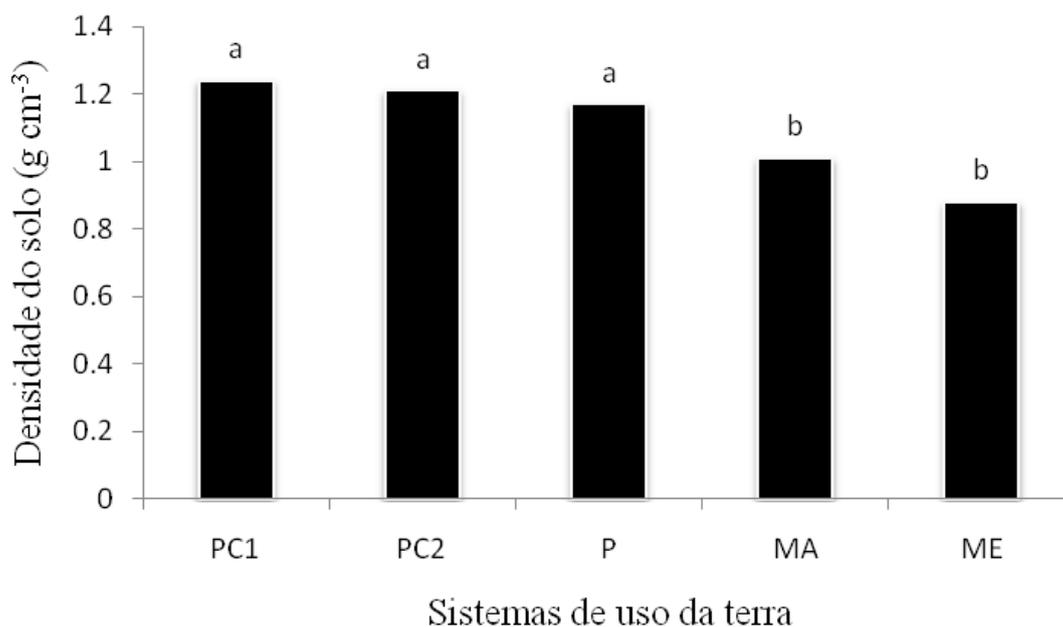


Figura 5.3: Densidade do solo em amostras de solo de cinco sistemas de manejo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé - MG. PC1: plantio convencional de cenoura; PC2: plantio convencional de abóbora; P: pasto; MA: mata nativa com araucária; ME: mata de eucalipto.

*Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% conforme Teste de Duncan.

Ambos os sistemas convencionais apresentaram os maiores valores de DS, conforme apresentado na Figura 5.3, em virtude do maior revolvimento da camada superficial, no preparo para o plantio, aliado a um menor conteúdo de material orgânico (SOLER, 2003; BERTOL et al. 2004). O sistema de pastagem também não diferiu estatisticamente dos sistemas PC1 e PC2, já os de mata apresentaram diferença, sendo os menores valores encontrados.

Os ecossistemas de pastagem natural apresentam, geralmente, baixos valores de densidade do solo, em virtude de um maior conteúdo de matéria orgânica na camada superficial, associado a uma maior massa de raízes. Spera et al. (2009) concluíram que pastagens perenes apresentaram menor densidade do solo e maior porosidade total e macroporosidade que sistemas de lavoura anual. Porém, o ecossistema de pastagem do estudo não diferiu estatisticamente dos valores encontrados para os sistemas convencionais, os quais apresentaram os maiores valores de DS. Isso pode estar associado ao menor volume de poros encontrado nesse sistema, que diminui o volume de macroporos (Figura 5.2).

Os menores valores de densidade do solo foram encontrados para os ecossistemas de mata. Isso se deve ao maior teor de matéria orgânica (> do que PC1 e PC2) e ao não revolvimento do solo, o que promove uma melhoria em sua qualidade física. Degradação na qualidade física de latossolos submetidos à ação antrópica foi constatada por Aratani et al. (2009), que

verificaram em áreas de mata, degradação bem inferior quando comparada com os sistemas antrópicos. Vezzani e Mielnickuk (2009) afirmaram que o não revolvimento do solo garante melhor estrutura física, além de diminuir a perda de nutrientes e de material orgânico.

Relacionando densidade do solo e a textura, verifica-se que a correlação entre DS e argila foi significativa, classificada como negativa forte ($r = -0,73^*$). Isso significa que quanto maior o teor de argila, menor a densidade do solo, o que foi confirmado no estudo, já que os sistemas PC1, PC2 e P apresentaram maior DS (Figura 5.3) e menor conteúdo de argila (Tabela 5.3). A carga negativa das argilas promove maior contato entre as partículas de solo, promovendo a formação de agregados e a melhoria de sua qualidade física.

Santos et al. (2005), estudando solos localizados na microbacia de Vaca Brava/PB, observou uma relação direta entre as classes texturais e a DS, com o aumento dessa última à medida que a textura do solo foi ficando mais grosseira. Isso foi verificado no estudo (Tabela 5.3), uma vez que os sistemas PC1, PC2 e P apresentaram textura mais grosseira (Franco-Arenosa). Entretanto, a correlação entre o atributo areia e a DS não foi significativa, classificada como positiva moderada ($r = 0,54$).

Um fator preponderante que deve ser levado em consideração, quando se analisa a densidade do solo é a sua porosidade total, sendo estes parâmetros inversamente proporcionais. Assim, os sistemas PC2 e PC1, em virtude da quebra dos macroagregados em superfície decorrente da mecanização empregada, associado a um menor estoque de material orgânico, apresentaram um menor volume total de poros (Figura 5.2). A redução do espaço poroso com o aumento da densidade do solo foi constatada por IZQUIERDO et al. (2005), PORTUGAL et al. (2008) e OLIVEIRA et al. (2008).

5.1.4. Estabilidade de agregados via - úmida

A estabilidade de agregados via – úmida, em cada área de estudo, encontra-se na Figura 5.4. Os valores de DMG variaram de 3,16 a 4,70 mm, e para o DMP a variação foi de 4,11 a 4,90 mm. Os valores de DMP foram superiores aos de DMG em todos os sistemas de uso, pois, o diâmetro médio ponderado analisa a quantidade de agregados maiores retidos em cada peneira e, o diâmetro médio geométrico, faz uma estimativa da classe de tamanho de agregados de maior ocorrência.

A correlação entre DMG e DMP para o estudo foi altamente significativa, classificada como positiva forte ($r = 0,99^*$). Soler (2003) comentou que o DMG é um método mais preciso pois normaliza a distribuição dos agregados do solo com classes muito distintas.

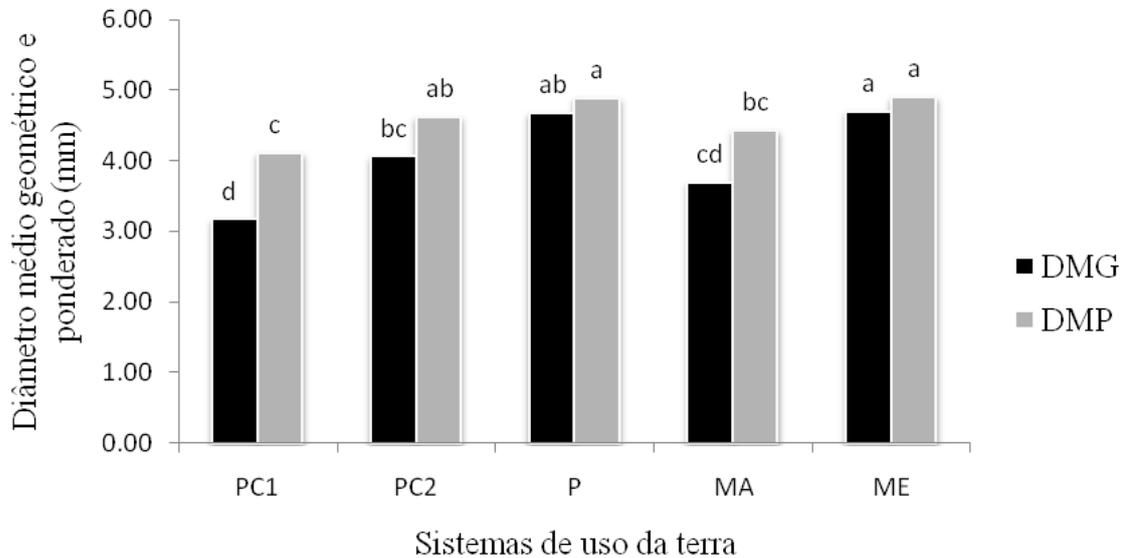


Figura 5.4: Diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) em amostras de solo de cinco sistemas de manejo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé - MG. PC1: plantio convencional de cenoura; PC2: plantio convencional de abóbora; P: pasto; MA: mata nativa com araucária; ME: mata de eucalipto.

*Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% conforme Teste de Duncan.

O índice de estabilidade dos agregados foi calculado para medir o grau de estabilidade dos agregados em cada sistema de uso, sendo os resultados expressados na Figura 5.5. Este índice varia de 0 a 1, sendo mais estáveis os agregados próximos ao valor 1. Vale a ressalva de que o IEA é a medida da agregação total do solo, não considerando a distribuição do tamanho de agregados (SOLER, 2003).

Os valores encontrados para esse parâmetro variaram de 0,93% a 0,99%, entre os sistemas de uso da terra estudados. Verifica-se que todos os sistemas de uso apresentaram altos valores para IEA, indicando que os agregados possuem alta adesão, quando submetido à água, e alta coesão, promovendo uma alta estabilidade de suas estruturas.

Entre os sistemas de uso, houve semelhança estatística entre os sistemas P, ME e PC2, assim como para os sistemas PC1 e MA. Houve correlação positiva altamente significativa de 95% entre os atributos IEA e DMG e de 98% entre IEA e DMP.

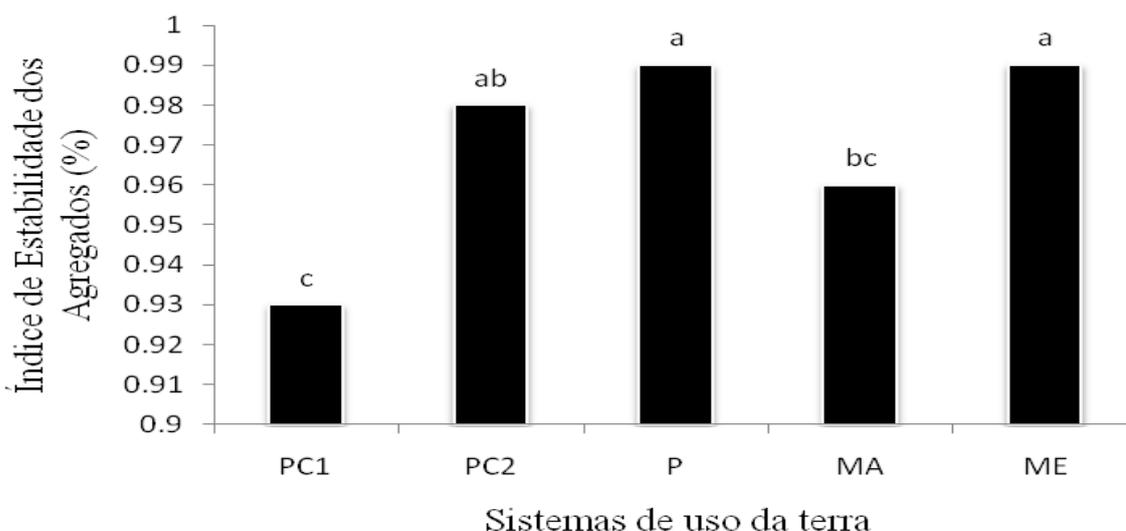


Figura 5.5: Índice de Estabilidade de Agregados em amostras de solo de cinco sistemas de manejo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé - MG. PC1: plantio convencional de cenoura; PC2: plantio convencional de abóbora; P: pasto; MA: mata nativa com araucária; ME: mata de eucalipto.

*Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% conforme Teste de Duncan.

Geralmente, o uso intensivo do solo inibe a formação e o desenvolvimento de agregados. Isto está em consonância com os estudos de Kasper et al. (2009), os quais concluíram que o cultivo promove a degradação das propriedades físicas que garantem menor grau de estabilidade aos agregados do solo. Ainda comentaram que, práticas agriculturáveis implicam na quebra dos macroagregados, que diminui diretamente o estoque de material orgânico no solo, aumentando sua mineralização.

O conteúdo de matéria orgânica influencia significativamente na estabilidade dos agregados e, quanto maior seu teor, maior o DMG e, conseqüentemente, o DMP. Wick et al. (2009) constataram uma maior estabilidade de agregados promovida por um aumento no teor de macroagregados. Os autores afirmaram que este aumento foi provocado pelo maior acúmulo de material orgânico no solo.

Oliveira et al. (2008), utilizando a metodologia do DMP, afirmaram que a diminuição do teor de C orgânico no solo contribui para a formação de agregados de menor tamanho, cimentados em sua maioria pela ação agregadora das argilas. Abiven (2008) corrobora a importância do controle na adição de material orgânico no solo, garantindo maior estoque de C, o que aumenta a estabilidade dos agregados. Para o presente estudo, tanto a correlação entre DMG e MO quanto DMP e MO foram classificadas como positiva moderada ($r = 0,66^*$), entretanto, foram significativas, indicando que o aumento do material orgânico influenciou no aumento do DMG ou DMP.

Semelhança estatística para o DMP entre o PC2 e os sistemas ME e P é evidenciada na Figura 5.4. Isso pode ter sido causado pelo menor revolvimento no plantio de abóbora, a partir de seu preparo mecanizado em covas, que proporciona maior preservação de sua estrutura bem como diminui o estresse de raízes de plantas e microrganismos.

Soler (2003), comentando sobre a ocorrência de agregados maiores, em superfície, para plantio convencional, afirmou que estes poderiam ter sido formados a partir de forças compressivas, os quais não seriam estáveis em água. Entretanto, para o estudo, o IEA dos agregados para o sistema PC2 foi estatisticamente semelhante aos sistemas ME e P.

Para o sistema de pastagem, o que influenciou significativamente nos altos valores de DMG e DMP foi o grande volume de raízes encontrado, aliado a um maior teor de matéria orgânica (Tabela 5.2). A correlação entre DMG e densidade de raízes foi significativa, classificada como positiva forte ($r = 0,84^*$). Para o DMP, a correlação foi positiva forte de 80%. Pulrolnik et al. (2009) comentaram que esse acúmulo de material orgânico das pastagens em superfície se deve ao rápido processo de ciclagem do seu sistema radicular.

Outro fator que pode ter contribuído para altos valores de DMG e DMP na pastagem é a compactação. Veiga et al. (2009) observaram através da análise do DMG que a distribuição dos agregados de um Nitossolo Vermelho, por tamanho, sofreram grande influência do grau de compactação a que este solo estava submetido. Esse fenômeno faz com que os microagregados se unam em agregados maiores, através de forças compressivas, o que aumenta o DMG dos agregados.

Alta estabilidade de agregados está ligada a uma menor densidade do solo, o que foi verificado no estudo para o sistema de plantio de eucalipto. Isso corrobora os dados de Costa et al. (2009), os quais observaram que sistemas que garantem maior preservação da estrutura do solo, acarretam em menores valores de densidade e, assim, maior estabilidade dos agregados. Entretanto, para o estudo, a correlação entre DMG e DS foi não significativa, classificada como negativa baixa ($r = -0,36$). Assim, o grande volume de raízes do eucalipto pode ter sido o responsável pelo maior DMG (Item 5.2.1).

A quantidade de serrapilheira produzida pelo eucalipto também pode ter sido responsável pela melhoria da estabilidade dos agregados, atuando na proteção contra agentes climáticos e erosivos, bem como na manutenção dos estoques de carbono no sistema.

Dufranc et al. (2004) ressaltaram o efeito benéfico do potássio como agente agregador das partículas do solo. Para o presente estudo, este efeito não foi evidente, visto que o ecossistema MA apresentou maior teor de K, quando comparado aos sistemas ME e P, entretanto, seu DMG e DMP foi menor. A correlação entre K e DMG não foi significativa, classificada como

negativa moderada ($r = -0,39$), portanto, não se pode afirmar que o aumento de K no sistema MA causou a redução no DMG.

Relacionando o DMG com a textura, observou-se que os sistemas que apresentaram maior teor de argila foram o ME e MA (Tabela 5.3), sendo que este apresentou valores mais baixos de DMG do que àquele, que apresentou o maior valor (Figura 5.4). Entre os convencionais, o PC1 apresentou menor teor de argila que o PC2, e, menor valor de DMG. Corroborando estudos de Almeida et al. (2008) e Salton et al. (2008), em que maior teor de argila confere maior estabilidade aos agregados, a correlação entre os atributos argila e DMG foi significativa, porém classificada como positiva baixa ($r = 0,18^*$). A correlação para o DMP foi, também, significativa, porém classificada como positiva baixa ($r = 0,24^*$).

5.2. ATRIBUTOS BIOLÓGICOS

5.2.1. Densidade de raízes

Os valores de densidade de raízes, em cada área de estudo, estão na Figura 5.6. Os valores de densidade de raízes variaram de 0,23 a 2,84 g cm^{-3} . Os ecossistemas P e ME apresentaram semelhança estatística, assim como os sistemas PC1, PC2 e MA.

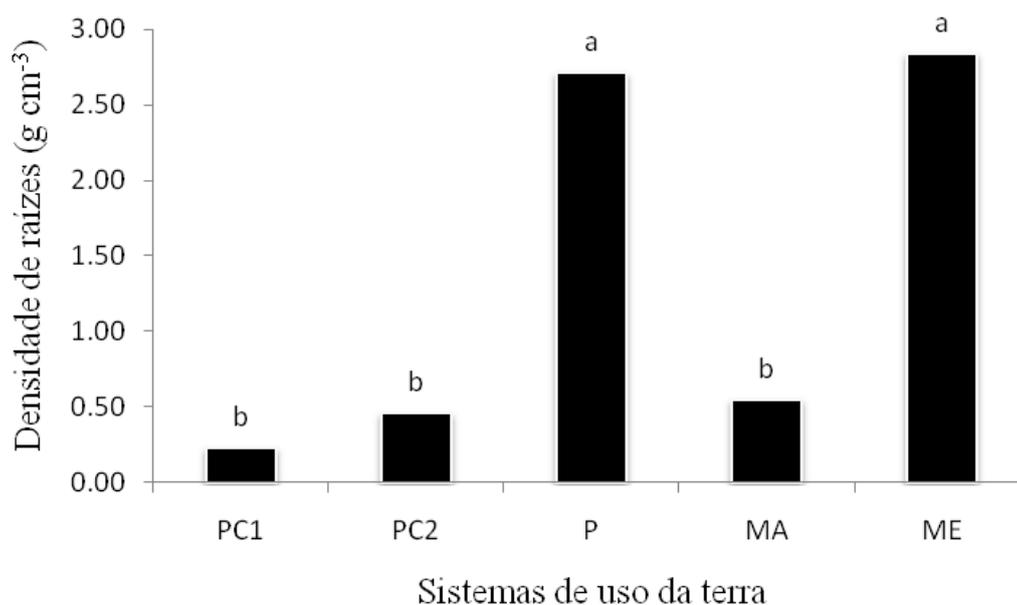


Figura 5.6: Densidade de raízes em amostras de solo de cinco sistemas de manejo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé - MG. PC1: plantio convencional de cenoura; PC2: plantio convencional de abóbora; P: pasto; MA: mata nativa com araucária; ME: mata de eucalipto.

*Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% conforme Teste de Duncan.

Os maiores valores para a DR foram encontrados para os sistemas ME e P, estes que apresentaram maior valor para DMG (correlação positiva forte de 84%). Isso está em consonância com os estudos de Salton et al. (2008), que ressaltaram a importância da participação das raízes na formação e estabilidade dos agregados do solo, em especial a rizosfera e hifas de fungos micorrízicos.

Os altos índices nos valores de DR da pastagem se deram pelo grande volume e ciclagem de suas raízes fasciculadas. A rizosfera formada por essas raízes cria um ambiente propício ao desenvolvimento de microrganismos, que por sua vez, estimulam maior crescimento radicular. Isso está em consonância com o presente estudo, já que as correlações entre DR e crescimento de hifas, e DR e atividade microbiana, foram positivas significativas de, respectivamente 76% e 82%.

Para o eucalipto, a rápida ciclagem das suas raízes proporciona um alto valor de DR. Outro fator que explica esse alto valor de densidade está relacionado à fisiologia do eucalipto, o qual investe sua energia nas fases iniciais de desenvolvimento para garantir um volume de raízes suficiente para o seu crescimento. O maior aporte de matéria seca proveniente dessa cultura também favorece o desenvolvimento de suas raízes, uma vez que garante a proteção das camadas superficiais contra agentes externos. Pulrolnik et al. (2009), estudando os estoques de C e N em diferentes sistemas de cultivo, encontraram para o eucalipto os maiores valores para tais variáveis, e concluíram que o maior aporte de matéria seca e a rápida ciclagem de suas raízes foram responsáveis pelo aumento.

Os menores valores foram encontrados para os sistemas convencionais e para o sistema de mata nativa com araucária. Menores valores de densidade de raízes para sistemas agriculturáveis são comuns, pois o revolvimento e a rápida decomposição do material orgânico incorporado diminuem o volume de raízes no solo. Pupin et al. (2009), avaliando alterações na comunidade microbiana do solo influenciadas por compactação induzida, comentaram que a compactação causada pelo cultivo aumenta a densidade do solo e a resistência à penetração, reduzindo a abundância de raízes.

A correlação entre matéria orgânica e DR, para o presente estudo, foi significativa, classificada como positiva forte ($r = 0,91^*$).

Para o sistema de mata nativa com araucária, era esperado maior valor para a densidade de raízes, por se tratar de um ecossistema com pouco ou nenhum revolvimento de solo e grande quantidade de serrapilheira em superfície. Porém, a partir da metodologia de quantificação de raízes utilizada pôde-se notar que seu sistema radicular é composto por grande número de raízes finas, o que pode ter acarretado em um menor peso por unidade de volume de solo. Os

baixos valores de densidade de raízes foi o responsável pelo menor IEA do sistema MA. Entre IEA e densidade de raízes, houve também correlação positiva significativa de 70%.

5.2.2. Quantificação do comprimento de micélio extrarradicular total de fungos micorrízicos

Os valores de comprimento de micélio extrarradicular total de fungos micorrízicos e a comparação de médias entre os cinco sistemas de uso da terra, em cada classe de agregados, estão demonstrados na Figura 5.7.

O efeito de micélio extrarradicular de fungos foi constatado em todas as classes estudadas. Vale a ressalva de que a classe I corresponde à comumente utilizada para as análises microbiológicas de rotina (peneiras de 4 e 2,36 mm) e de que a proposta do trabalho é a de analisar, também, o comportamento da comunidade microbiológica, tanto nessa quanto nas classes com menores diâmetros de agregados, a partir da análise de regressão.

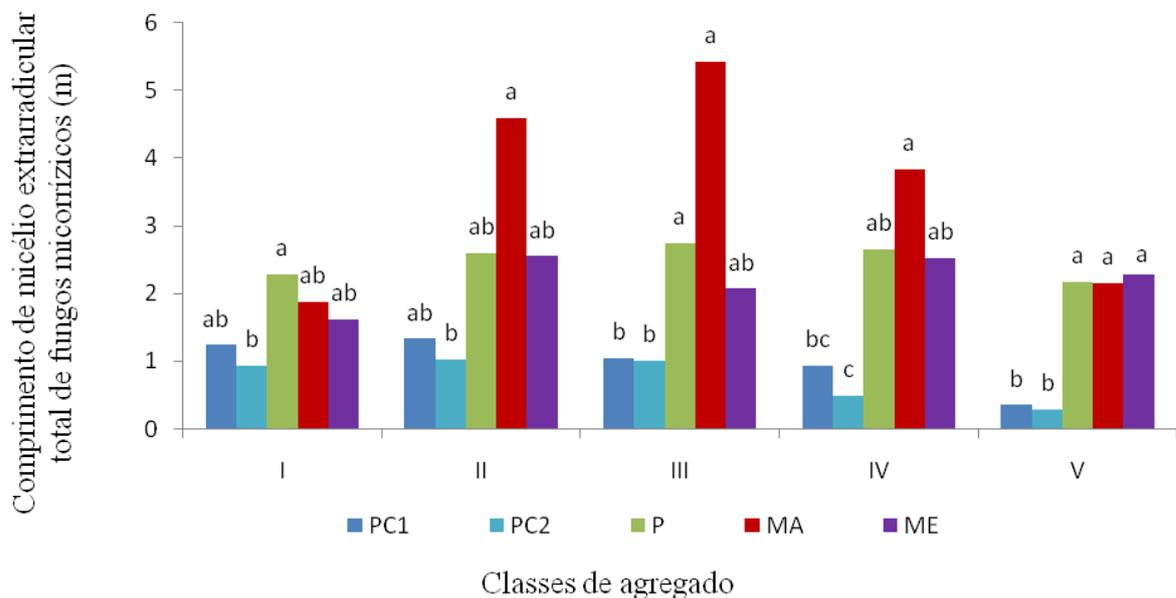


Figura 5.7: Comprimento de micélio extrarradicular total de fungos micorrízicos arbusculares por classe de agregado, em cinco sistemas de manejo localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé - MG. Classe I: 4,00-2,36 mm; Classe II: 2,36-1,18 mm; Classe III: 1,18-0,60 mm; Classe IV: 0,60-0,30 mm; Classe V: 0,30-0,15 mm; PC1: plantio convencional de cenoura; PC2: plantio convencional de abóbora; P: pasto; MA: mata nativa de araucária; ME: mata de eucalipto.

*Médias seguidas por letras distintas, em cada classe, diferem entre si ao nível de significância de 5% conforme Teste de Duncan.

Os sistemas PC2 e P foram estatisticamente diferentes quanto ao comprimento de micélio de fungos micorrízicos, em todas as classes, exceto para a classe II (Figura 5.7). Tanto para os

sistemas convencionais, quanto para os sistemas de mata, em todas as classes foram observadas semelhanças estatísticas.

O efeito rizosférico das gramíneas, em especial a exsudação de polissacarídeos das plantas e a atividade microbiana, bem como o alto teor de matéria orgânica do pasto (Tabela 5.2) podem ter contribuído para o crescimento das hifas dos fungos micorrízicos. A correlação entre micélio e matéria orgânica para o estudo foi significativa, classificada como positiva forte ($r = 0,94^*$). Para micélio e atividade, a correlação foi positiva forte, significativa, de 95%. Entre os atributos DR e micélio, a correlação foi positiva forte, significativa, de 76%. Isso está em consonância com os estudos de Caravaca et al. (2006), que utilizaram um inóculo combinado de fungos micorrízicos e materiais orgânicos e concluíram que, este aumento de C no solo promoveu o crescimento de plantas que, por sua vez, estimularam o crescimento dos fungos micorrízicos.

Ainda, esses autores relacionaram o crescimento de fungos com o aumento na estabilidade dos agregados, pois, suas hifas promovem a melhoria na estruturação do solo. A correlação entre micélio e IEA foi classificada como positiva forte ($r = 0,78^*$). Entretanto, para o presente estudo, a correlação entre DMG e micélio não foi significativa, classificada como positiva moderada ($r = 0,43$), portanto, não se pode afirmar que o crescimento de hifas de fungos micorrízicos acarreta em maiores valores de DMG.

Nóbrega et al. (2001) concluíram que o grau de estabilidade dos agregados esteve condicionado ao nível de P no solo, sendo que a presença de P promoveu, imediatamente, maior comprimento total de hifas. Para o presente estudo, a correlação entre P e micélio de fungos foi significativa, classificada como negativa moderada ($r = -0,57^*$), ou seja, P e micélio são inversamente proporcionais. O sistema convencional PC2, apresentou altos teores de P, porém, esse foi proveniente de adubação. Está confirmado que a adubação de fósforo inibe o crescimento de hifas de fungos micorrízicos, uma vez que, o fósforo estará prontamente disponível na solução do solo, não havendo a real necessidade de associação com FMA para a sua captação. Nogueira e Cardoso (2000), estudando o crescimento de espécies de soja, constataram que a produção de micélios de fungos micorrízicos totais apresentou correlação negativa com o incremento nas doses de fósforo na plantação.

Foram encontradas correlações significativas entre micélio e os atributos químicos, o que pode ser verificado na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Correlações entre os atributos comprimento extrarradicular de micélio de fungos micorrízicos arbusculares e atributos químicos de cinco sistemas de manejo localizados na Fazenda Pomária, em Maria da Fé – MG.

<i>Micélio</i>	<i>pH</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Al+H</i>	<i>SB</i>	<i>t</i>	<i>T</i>	<i>V%</i>	<i>m%</i>	<i>P-Rem</i>	<i>MO</i>
Correlação	-0,8	-0,88	-0,8	-0,78	0,8	0,91	-0,8	-0,71	0,83	-0,85	0,79	-0,85	0,94

A partir da Tabela 5.4 foram encontradas correlações positivas forte para os atributos Al, Al+H, T, m% e MO, sendo que pH, K, Ca, Mg, SB, t, V% e P-Rem apresentaram correlação negativa forte. Isso explica os baixos valores de micélio encontrados para o sistema PC2 (Figura 5.7), os quais apresentaram baixos valores para os atributos químicos que apresentaram correlação positiva e altos valores para os com correlação negativa (Tabelas 5.1 e 5.2). Silveira e Freitas (2007) afirmaram que o desenvolvimento extrarradicular do micélio conecta raízes de diversas espécies vegetais, ocasionando uma nova dinâmica na aquisição de nutrientes pela vegetação, aumentando assim a fertilidade do solo.

As análises de regressão para o comprimento de micélio extrarradicular total de fungos micorrízicos, para cada sistema de uso da terra em separado, estão apresentadas na Figura 5.8. Vale a ressalva de que, para cada sistema de uso, foi utilizada uma linha de tendência de regressão que melhor explicasse os valores da variável dependente (valores em y no gráfico). Para isso, escolheu-se o maior *coeficiente de determinação* (R^2) para apreciar o ajuste da curva de regressão pretendida.

A linha de tendência de regressão que melhor explica a variação do comprimento de micélio em relação às classes de agregado para o sistema PC1 é a polinomial, pois apresentou o maior R^2 . Esta equação pode ser utilizada partindo-se do pressuposto matemático de que, para uma equação polinomial de grau dois, com cinco coeficientes, o número mínimo de pontos amostrados deve ser maior ou igual a cinco (LANDIM e CORSI, 2001). O R^2 encontrado consegue explicar aproximadamente 96% dos valores encontrados para a quantificação de micélio de fungos, o que caracteriza um bom ajuste para a curva de regressão.

Em relação aos demais sistemas de uso da terra, utilizaram-se, também, regressões polinomiais, pois apresentaram maior R^2 . Os coeficientes de determinação encontrados, respectivamente, para os sistemas PC2, P, MA e ME foram de 91%, 98%, 95% e 53%. Vale a ressalva de que, para o sistema ME, o coeficiente de determinação encontrado consegue explicar 53% dos valores encontrados para a quantificação de micélio de fungos, o que não caracteriza um bom ajuste para a curva de regressão.

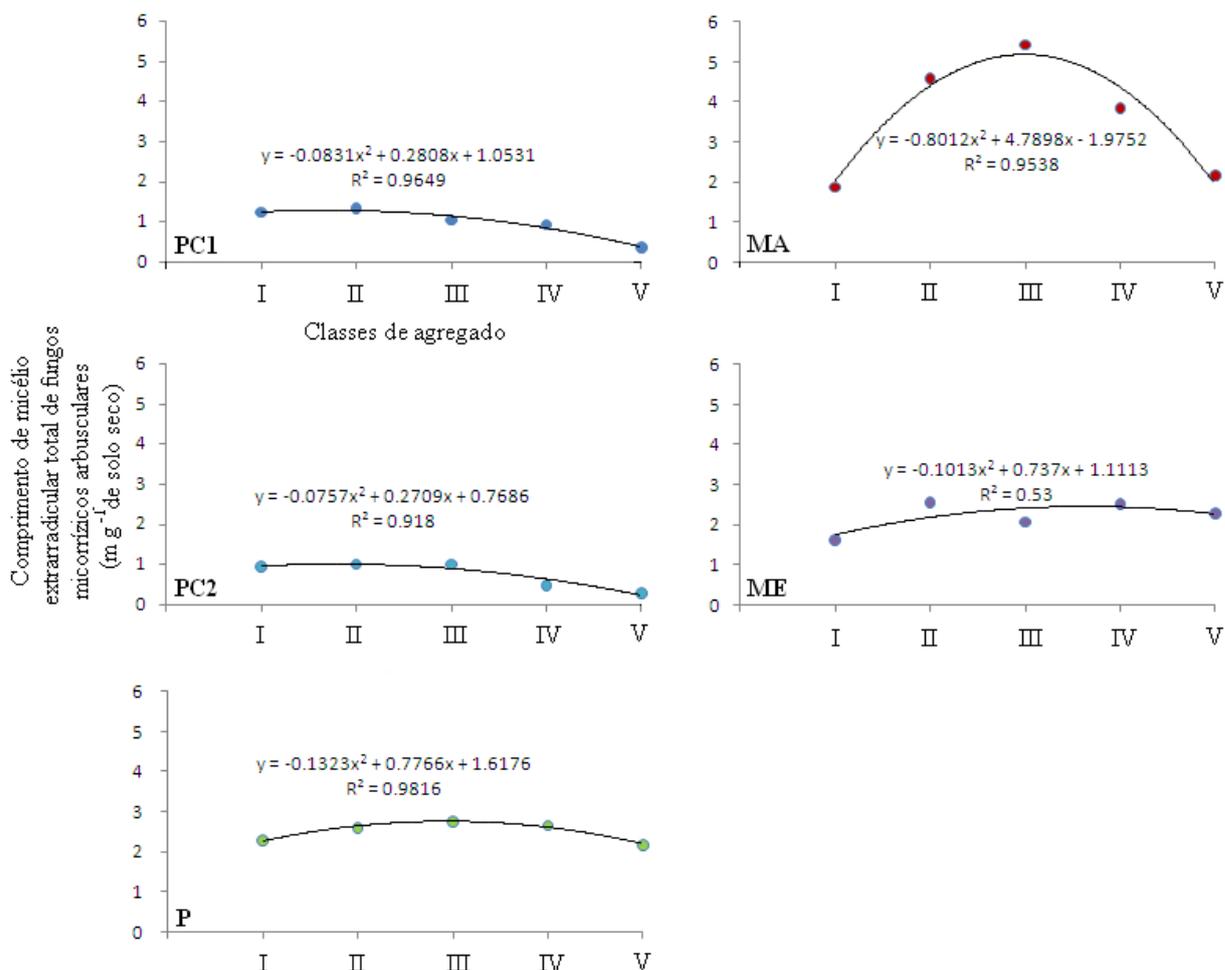


Figura 5.8: Micélio total de fungos micorrízicos em função da classe de agregado, em amostras de solo da Fazenda Pomária, Maria da Fé - MG. Classe I: 4,00-2,36 mm; Classe II: 2,36-1,18 mm; Classe III: 1,18-0,60 mm; Classe IV: 0,60-0,30 mm; Classe V: 0,30-0,15 mm; PC1: plantio convencional de cenoura; PC2: plantio convencional de abóbora; P: pasto; MA: mata nativa com araucária; ME: mata de eucalipto.

Assim, os sistemas convencionais apresentaram queda no comprimento de hifas de fungos micorrízicos da classe I para a classe V. Os fatores que podem estar associados com a diminuição no comprimento de micélios são o pH, soma de bases, saturação por bases e CTC efetiva. Ambos os sistemas convencionais apresentaram maiores valores para estas variáveis (Tabelas 5.1 e 5.2), o que implica na queda no comprimento de micélios, sendo a correlação entre estes parâmetros classificada como negativa forte (Tabela 5.4). Uma vez que a adubação é a principal responsável pela entrada de nutrientes no sistema (pois mesmo em sistema convencional pode ter reciclagem da matéria orgânica), a associação com fungos é menor, pois há um controle nos níveis de substâncias químicas disponíveis na solução do solo, capaz de suprir as necessidades nutricionais das plantas.

Para os sistemas de mata, assim como para o sistema de pastagem, foi observado um aumento do comprimento de micélio com a diminuição do tamanho dos agregados, e posterior queda até a classe V, onde foram constatados valores semelhantes aos encontrados para a classe I. O sistema MA apresentou um maior aumento, o que pode ser explicado pelos atributos químicos pH, soma de bases, saturação por bases e CTC efetiva. Estes atributos apresentaram os menores valores (Tabelas 5.1 e 5.2) e são inversamente proporcionais aos valores de micélios de fungos micorrízicos.

Em relação aos sistemas P e ME, as melhores condições físicas, tais como maior teor de matéria orgânica (Tabela 5.2), maiores IEA (Figura 5.5) e alta densidade de raízes (Figura 5.6) foram os responsáveis pelo aumento no comprimento de hifas de fungos. Ambas as correlações foram significativas, classificadas como positivas forte, sendo, respectivamente de, 94%, 78% e 76%.

Assim, verificou-se que os micélios de fungos micorrízicos estão fortemente ligados à estabilidade dos agregados maiores, uma vez que foram encontrados maiores valores para o comprimento de hifas nas classes de maior tamanho (Figura 5.8). Isso corrobora a afirmativa de Soler (2003), que destacou que quanto maior o tamanho do agregado, maior sua estabilidade.

5.2.3. Atividade microbiana

Os valores de atividade microbiana e a comparação de médias entre os cinco sistemas de uso da terra, em cada classe de agregado, encontram-se na Figura 5.9.

Para a classe I verificou-se diferença estatística apenas entre os sistemas PC2 e P (Figura 5.9). O pasto apresentou maior atividade em virtude de seu alto teor de matéria orgânica (correlação positiva forte de 97%), o que foi corroborado pelos estudos de Carvalho et al. (2008), Hungria et al. (2009) e Paz-Ferrero et al. (2009). Tanto para os sistemas convencionais, quanto para os sistemas de mata, foram encontradas semelhanças estatísticas, com exceção do sistema MA nas classes IV e V, o qual apresentou os maiores valores para atividade microbiana.

Ainda, o pasto apresentou, para a classe I, maior valor para o comprimento de micélios extrarradiculares de fungos micorrízicos, consequência da maior atividade microbiana encontrada (Figura 5.9). A correlação entre os dois atributos foi altamente significativa, classificada como positiva forte ($r = 0,95^*$). Hungria et al. (2009) observaram uma relação entre o aumento da atividade microbiana e a deposição de material orgânico, juntamente a

processos de fixação biológica e colonização micorrízica. Assim como observado para o micélio, a maior DR influencia significativamente no aumento da atividade microbiana, sendo a correlação entre os dois atributos significativa, classificada como positiva forte de 82%.

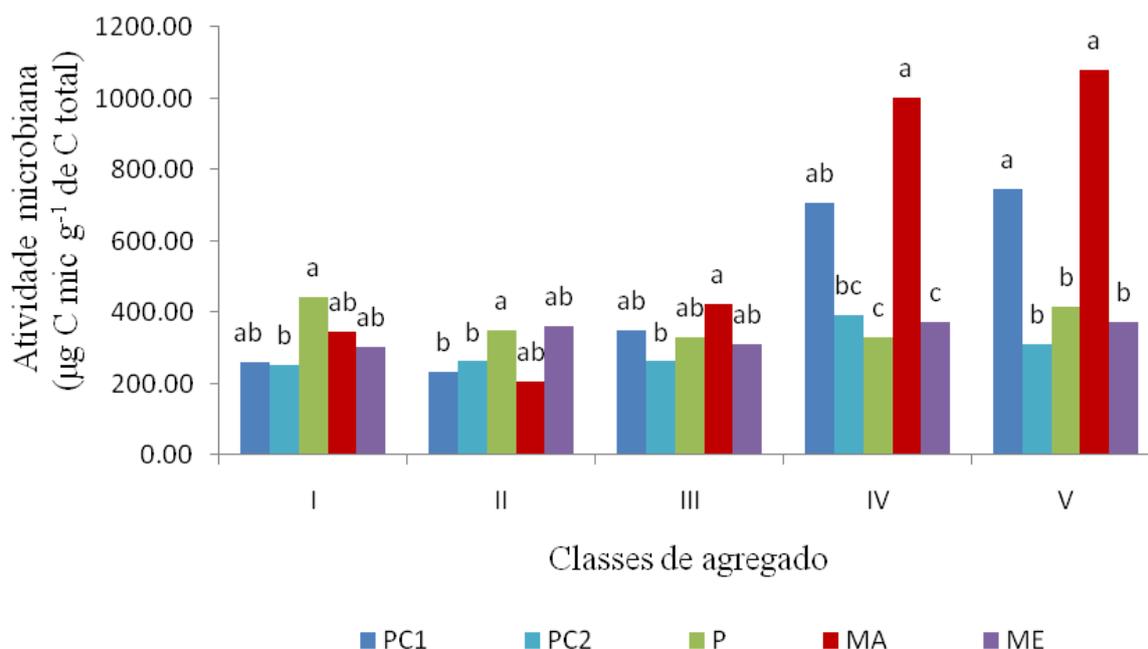


Figura 5.9: Atividade microbiana por classe de agregado, em amostras de solo de cinco sistemas de manejo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé - MG. Classe I: 4,00-2,36 mm; Classe II: 2,36-1,18 mm; Classe III: 1,18-0,60 mm; Classe IV: 0,60-0,30 mm; Classe V: 0,30-0,15 mm; PC1: plantio convencional de cenoura; PC2: plantio convencional de abóbora; P: pasto; MA: mata nativa com araucária; PE: mata de eucalipto. *Médias seguidas por letras distintas, em cada classe, diferem entre si ao nível de significância de 5% conforme Teste de Duncan.

As análises de regressão da atividade microbiana para cada sistema de uso da terra, em separado, são apresentadas na Figura 5.10.

A linha de tendência de regressão que melhor explica a variação da atividade microbiana em relação às classes de agregado para o sistema PC1 é a polinomial, pois apresentou maior R^2 e atendeu aos pressupostos de Landim e Corsi (2001). O coeficiente de determinação encontrado consegue explicar aproximadamente 89% dos valores encontrados para a atividade microbiana, o que caracteriza um bom ajuste para a regressão.

Em relação aos demais sistemas de uso, utilizaram-se regressões polinomiais nos sistemas P e MA, sendo o sistema PC2 ajustado por regressão exponencial e o sistema ME por regressão logarítmica. Os coeficientes de determinação encontrados, respectivamente, para os sistemas PC2, P, MA e ME foram de 48%, 98%, 87% e 49%. Vale a ressalva de que, para os

sistemas PC2 e ME, os coeficientes de determinação encontrados não caracterizam bons ajustes para a regressão.

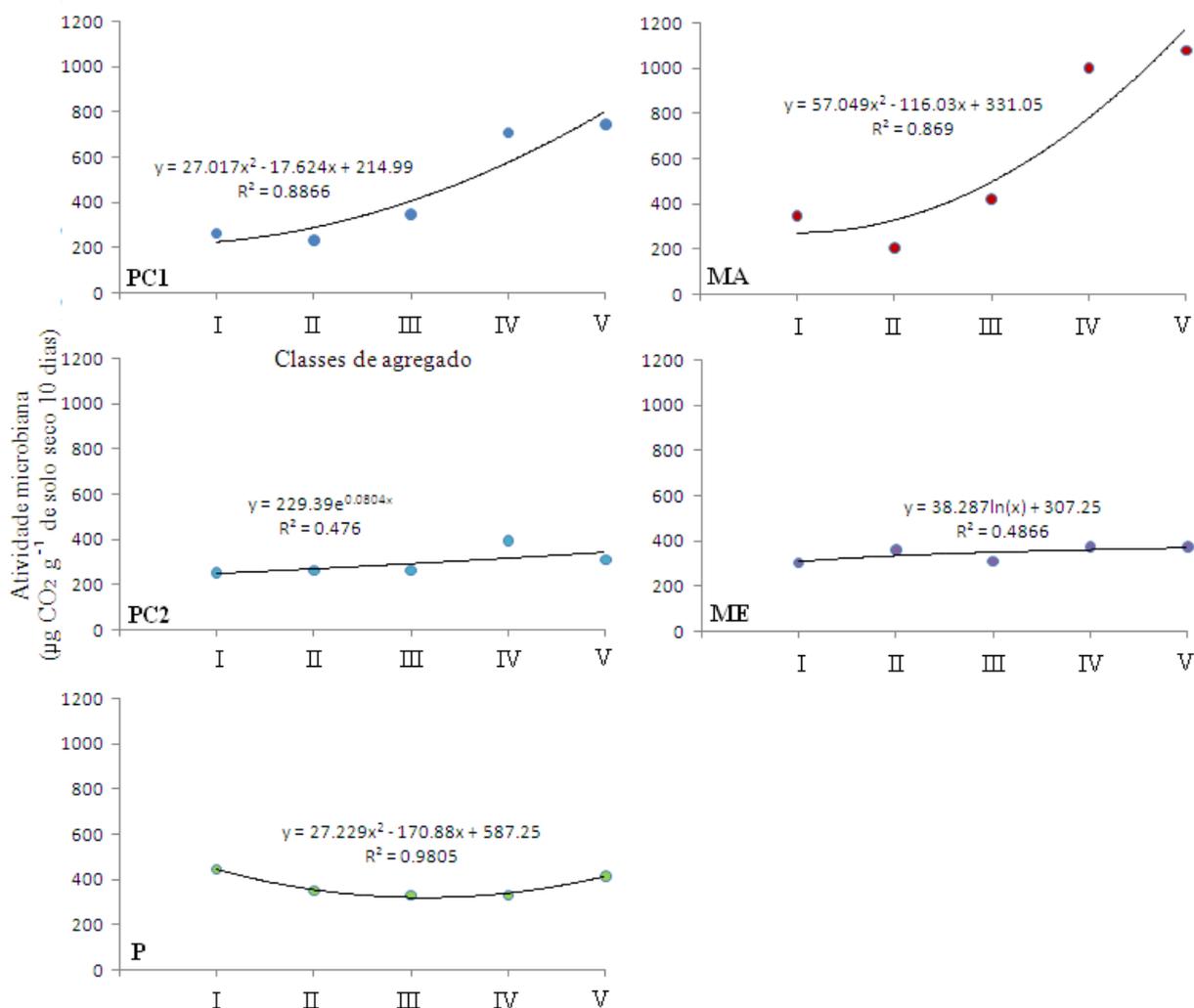


Figura 5.10: Atividade microbiana em função da classe de agregado, em amostras de solo da Fazenda Pomária, Maria da Fé - MG. Classe I: 4,00-2,36 mm; Classe II: 2,36-1,18 mm; Classe III: 1,18-0,60 mm; Classe IV: 0,60-0,30 mm; Classe V: 0,30-0,15 mm; PC1: plantio convencional de cenoura; PC2: plantio convencional de abóbora; P: pasto; MA: mata nativa com araucária; ME: mata de eucalipto.

Em todos os sistemas de uso do estudo observou-se um aumento na atividade da classe I para a classe V (Figura 5.10), exceto para o sistema P, o qual se observou uma diminuição, seguida de um aumento até a classe V, onde foram observados valores semelhantes à da classe I. Para os sistemas convencionais, o aumento na atividade pode estar associado ao maior teor de fósforo remanescente encontrado (Tabela 5.2), sendo este maior quanto menor o teor de argila (Tabela 5.3). Os minerais de argila se ligam ao fósforo presente na solução do solo, mineralizando-os. A correlação encontrada para esses atributos foi significativa, classificada como negativa forte ($r = -0,80^*$).

Apesar da alta correlação positiva entre micélio e atividade microbiana, essa aumentou em ambos os sistemas (Figura 5.10). Isso pode estar associado a um aumento na atividade de bactérias (KOHLENER et al., 2009) e demais microrganismos.

Os sistemas de mata, assim como a pastagem, apresentaram maiores valores de atividade microbiana para a CTC total (Tabela 5.2). A maior atividade microbiana influencia em uma alta capacidade de troca de cátions. A correlação entre as variáveis foi significativa, classificada como positiva forte de 82%. Altos valores para o atributo Al+H (Tabela 5.1) acarretam em maiores valores de CTC total, sendo que esses sistemas apresentaram, também, maiores valores para àquela variável. A correlação entre atividade microbiana e Al+H foi significativa, classificada como positiva forte ($r = 0,81^*$). Os altos teores de material orgânico desses sistemas associada a uma alta densidade de raízes (exceto para o sistema MA) influenciaram no aumento da atividade microbiana, sendo as correlações entre as variáveis significativas, classificadas como positivas, com coeficiente de determinação de, respectivamente, 97% e 82%.

5.2.4. Quantificação da biomassa microbiana

Os valores de biomassa microbiana e a comparação de médias entre os cinco sistemas de uso da terra, em cada classe de agregado, encontram-se na Figura 5.11.

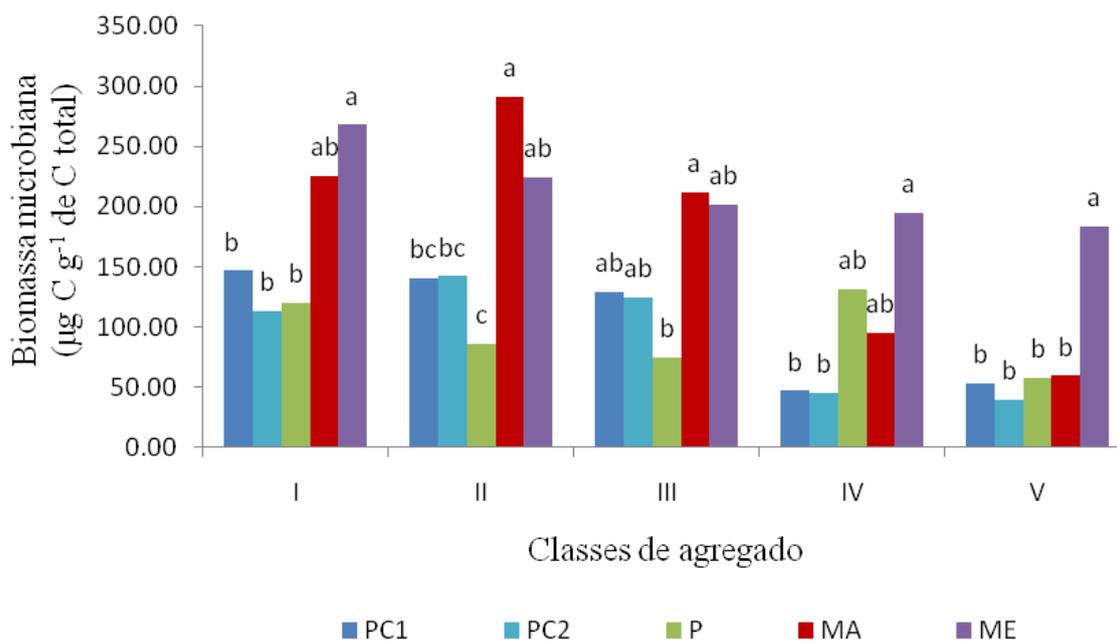


Figura 5.11: Biomassa microbiana, por classe de agregado, em amostras de solo de cinco sistemas de manejo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé - MG. Classe I: 4,00-2,36 mm; Classe II: 2,36-1,18 mm; Classe III: 1,18-0,60 mm; Classe IV: 0,60-0,30 mm; Classe V: 0,30-0,15 mm; PC1: plantio convencional de cenoura; PC2: plantio convencional de abóbora; P: pasto; MA: mata nativa de araucária; PE: mata de eucalipto. *Médias seguidas por letras distintas, em cada classe, diferem entre si ao nível de significância de 5% conforme Teste de Duncan.

Para a classe I verificou-se diferença estatística apenas entre os sistemas ME e PC1, ME e P, e ME e PC2. O teor de argila pode ter sido o responsável pela maior biomassa encontrada no sistema ME. A correlação entre esses atributos foi significativa, sendo classificada como positiva forte ($r = 0,71^*$). O silte também apresentou correlação significativa, classificada como negativa forte de 81%, o que explica os maiores valores de biomassa para o sistema ME (Tabela 5.1). Amado et al. (2007) verificaram que em solos com maior teor de argila, foram encontradas maiores taxas de respiração microbiana.

Relacionando biomassa microbiana e densidade do solo, observou-se uma correlação negativa forte de 97%, altamente significativa. Menor densidade do solo promove maior porosidade total (correlação significativa positiva entre VTP e biomassa de 97%), o que por sua vez garante a melhoria das condições físicas do solo, bem como melhores condições de aeração. Isso promove o crescimento de raízes e o desenvolvimento de microrganismos, o que afeta diretamente a biomassa microbiana. Então, o volume total de poros assim como a DS, podem ter sido responsáveis pelos menores valores de biomassa no sistema P, quando comparado aos sistemas convencionais.

As análises de regressão da quantificação da biomassa microbiana para cada sistema de uso da terra, em separado, são apresentadas na Figura 5.12.

A linha de tendência de regressão que melhor explica a variação da biomassa microbiana em relação às classes de agregado para o sistema PC1 é a polinomial, pois apresentou maior R^2 e atendeu os pressupostos de Landim e Corsi (2001). O coeficiente de determinação encontrado consegue explicar aproximadamente 84% dos valores encontrados para a biomassa microbiana, o que caracteriza um bom ajuste para a reta de regressão.

Em relação aos demais sistemas de uso, utilizaram-se regressões polinomiais nos sistemas PC2 e MA, sendo os sistemas P e ME ajustados por regressões exponenciais. Os coeficientes de determinação encontrados, respectivamente, para os sistemas PC2, P, MA e ME foram de 80%, 24%, 86% e 100%. Vale a ressalva de que, para o sistema P, o coeficiente de determinação encontrado não caracteriza um bom ajuste para a reta de regressão.

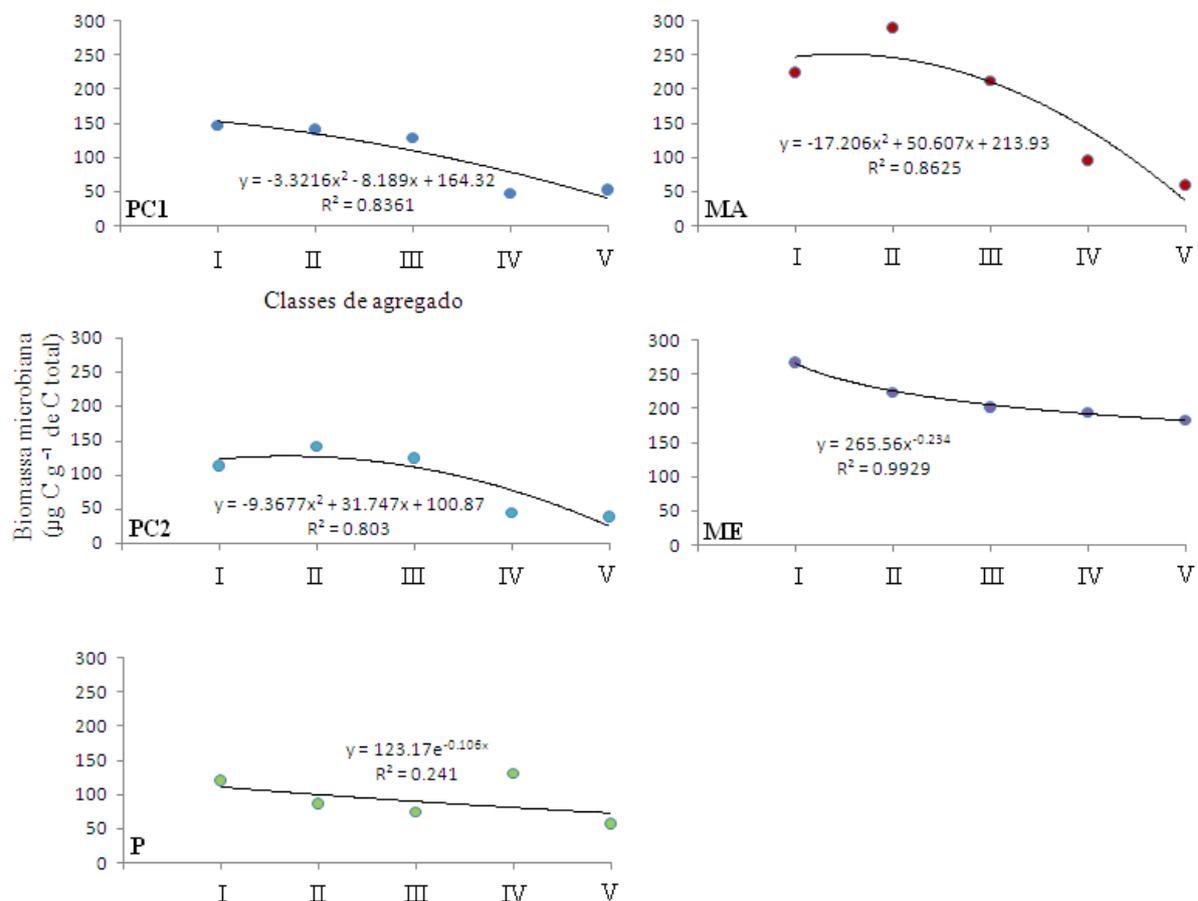


Figura 5.12: Biomassa microbiana em função da classe de agregado, em amostras de solo da Fazenda Pomária, Maria da Fé - MG. Classe I: 4,00-2,36 mm; Classe II: 2,36-1,18 mm; Classe III: 1,18-0,60 mm; Classe IV: 0,60-0,30 mm; Classe V: 0,30-0,15 mm; PC1: plantio convencional de cenoura; PC2: plantio convencional de abóbora; P: pasto; MA: mata nativa com araucária; ME: mata de eucalipto.

Todos os sistemas de uso do estudo apresentaram uma queda na biomassa da classe I para a classe V (Figura 5.12). Para os sistemas convencionais, essa queda está associada ao revolvimento proveniente do maquinário utilizado para o plantio, que diminui a porcentagem de macroagregados (FILHO e TESSIER, 2009). Isso acarreta em menores espaços para o desenvolvimento de microrganismos, o que pode diminuir a biomassa microbiana. A densidade do solo verificada para a pastagem também influencia na diminuição dos macroagregados e, conseqüentemente, na diminuição do volume total de poros (Figura 5.2), acarretando em uma menor biomassa microbiana (correlação positiva entre VTP e biomassa de 97%).

Para o sistema MA houve um aumento do estresse microbiano (Figura 5.14) da classe I para a classe V, medido pelo coeficiente metabólico (qCO_2), o que acarretou em um menor valor de biomassa (correlação significativa negativa forte de 85%). Em relação ao sistema ME, o estresse microbiano foi o responsável pela queda na biomassa, porém, as melhores condições físicas desse sistema permitiram uma maior biomassa quando comparada aos demais sistemas (Figura 5.12).

5.2.5. Quociente metabólico

Os valores para o quociente metabólico (qCO_2) e a comparação de médias entre os cinco sistemas de uso da terra, em cada classe de agregado, encontram-se na Figura 5.13. Esse parâmetro foi calculado pela relação entre os atributos biomassa microbiana e atividade microbiana.

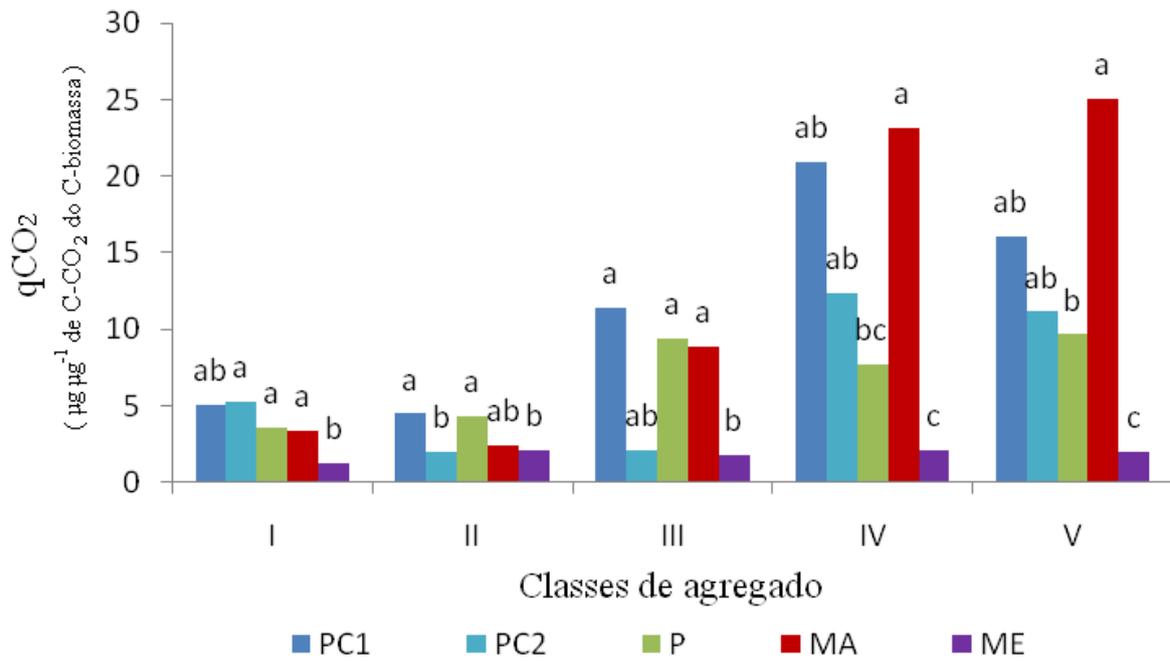


Figura 5.13: Quociente metabólico, por classe de agregado, de cinco sistemas de manejo, localizados na Fazenda Pomária, Maria da Fé - MG. Classe I: 4,00-2,36 mm; Classe II: 2,36-1,18 mm; Classe III: 1,18-0,60 mm; Classe IV: 0,60-0,30 mm; Classe V: 0,30-0,15 mm; PC1: plantio convencional de cenoura; PC2: plantio convencional de abóbora; P: pasto; MA: mata nativa de araucária; PE: mata de eucalipto.
*Médias seguidas por letras distintas, em cada classe, diferem entre si ao nível de significância de 5% conforme Teste de Duncan.

As análises de regressão do quociente metabólico para cada sistema de uso da terra, em separado, são apresentadas na Figura 5.14.

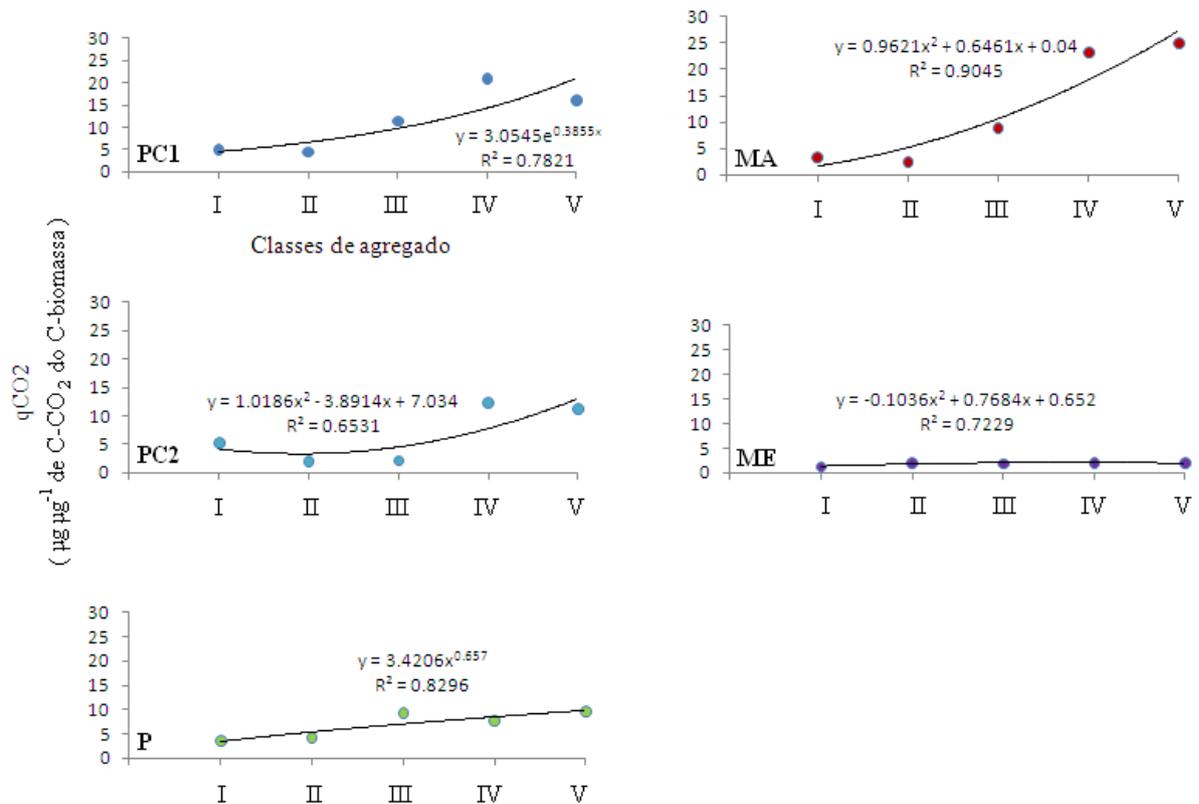


Figura 5.14: Quociente metabólico em função da classe de agregado, em amostras de solo da Fazenda Pomária, Maria da Fé - MG. Classe I: 4,00-2,36 mm; Classe II: 2,36-1,18 mm; Classe III: 1,18-0,60 mm; Classe IV: 0,60-0,30 mm; Classe V: 0,30-0,15 mm; a) PC1: plantio convencional de cenoura; PC2: plantio convencional de abóbora; c) P: pasto; MA: mata nativa com araucária; e) ME: mata de eucalipto.

A linha de tendência de regressão que melhor explica a variação do qCO_2 em relação às classes de agregado para o sistema PC1 é a exponencial, pois apresentou maior R^2 e atendeu os pressupostos de Landim e Corsi (2001). O coeficiente de determinação encontrado consegue explicar aproximadamente 78% dos valores encontrados para o qCO_2 , o que caracteriza um bom ajuste para a reta de regressão.

Em relação aos demais sistemas de uso, utilizaram-se regressões polinomiais nos sistemas PC2 e MA, sendo o sistema P ajustado por regressão de potência e o sistema ME por regressão exponencial. Os coeficientes de determinação encontrados, respectivamente, para os sistemas PC2, P, MA e ME foram de 65%, 83%, 90% e 72%. Vale a ressalva de que, para o sistema PC2, o coeficiente de determinação encontrado não caracteriza um bom ajuste para a curva de regressão.

Todos os sistemas de uso apresentaram um aumento no estresse microbiano, sendo que os sistemas convencionais e a mata nativa com araucária apresentaram aumento significativo (Figura 5.14). Isso é consequência de um aumento mais pronunciado na atividade microbiana (Figura 5.10) seguida por uma diminuição acentuada na biomassa (Figura 5.12). Os maiores valores para a densidade do solo desses sistemas também foi responsável pelo aumento do qCO_2 , sendo que a correlação entre esses atributos foi classificada como positiva forte de 95%.

Em contrapartida, os sistemas P e ME apresentaram um aumento mais suave para qCO_2 , em virtude de melhores condições físicas e de uma diminuição menos pronunciada para a biomassa (Figura 5.12). A correlação entre VTP e qCO_2 foi significativa, classificada como negativa forte de 89%.

A síntese dos resultados referentes ao comportamento dos atributos microbiológicos sobre as classes de agregado, nos diferentes sistemas de uso da terra, está apresentada na Figura 5.15. Evidenciou-se grande sensibilidade desses atributos em função do tamanho dos agregados, com destaque para comprimento de micélio extrarradicular e biomassa microbiana em agregados maiores (Figuras 5.8 e 5.12), e maior atividade e estresse microbianos em agregados menores (Figuras 5.10 e 5.14).

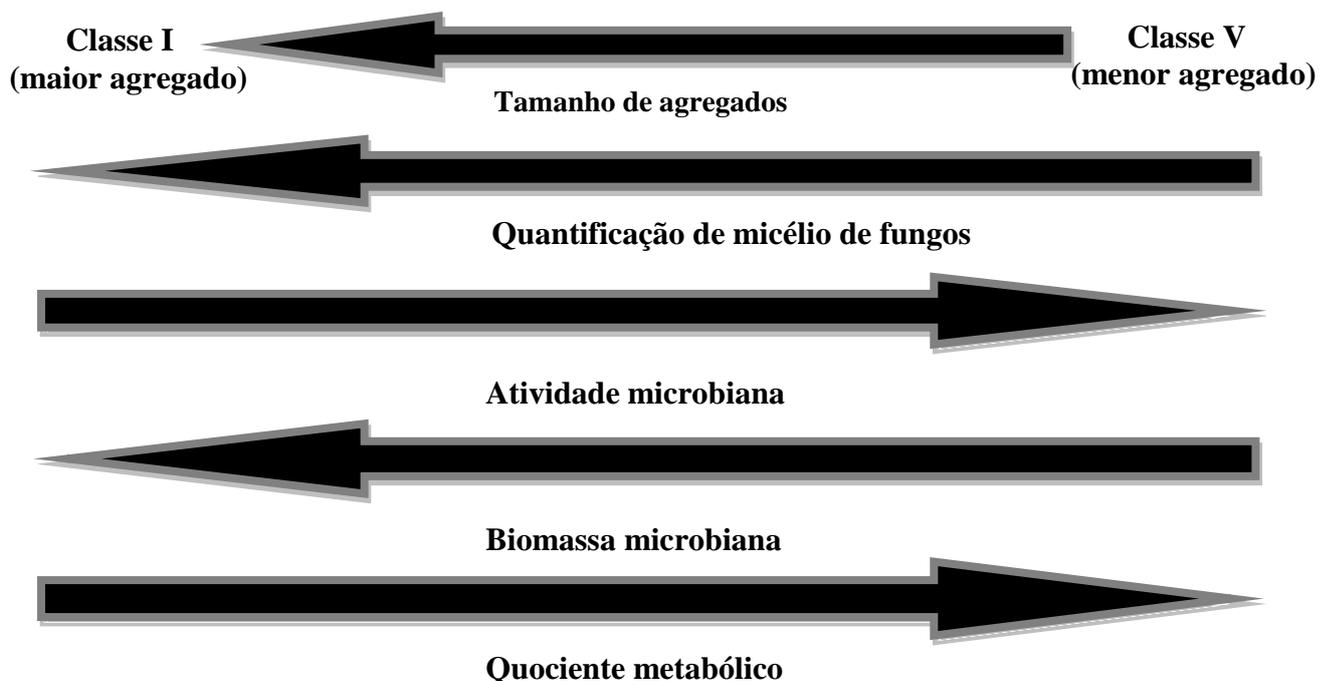


Figura 5.15: Resumo geral do comportamento das variáveis microbiológicas sobre as classes de agregado, de cinco sistemas de uso da terra, em amostras de solo da Fazenda Pomária, Maria da Fé – MG.

6. CONCLUSÕES

1. Os sistemas de uso da terra influenciaram na estabilidade dos agregados, sendo os sistemas P e ME os mais estáveis, com maior diâmetro médio geométrico dos agregados.

2. Os sistemas de mata de eucalipto e pastagem apresentaram os maiores valores, tanto para DMG (respectivamente, 4,70 mm; 4,68 mm) quanto para o DMP (respectivamente, 4,9 mm; 4,89 mm), em função da alta densidade de raízes (respectivamente, 2,84 mm; 2,71 mm).

3. O menor teor de argila nos sistemas convencionais PC1 e PC2 e de pastagem (respectivamente, 18 dag kg⁻¹; 26 dag kg⁻¹; 24 dag kg⁻¹) aumentou a densidade do solo (respectivamente, 1,21 g cm⁻³; 1,24 g cm⁻³; 1,17 g cm⁻³).

4. Todos os sistemas de uso apresentaram altos valores de índices de estabilidade dos agregados (0,93% a 0,99%), com correlação positiva significativa entre comprimento de micélio e matéria orgânica do solo.

5. Os agregados maiores apresentaram maiores valores para os atributos micélio extrarradicular de fungos micorrízicos arbusculares e biomassa microbiana.

6. O comprimento de micélio extrarradicular de fungos micorrízicos arbusculares varia da classe I para a V nos diferentes sistemas de uso, com redução na última classe para os sistemas convencionais. A diminuição no tamanho de agregados (da classe I para a V) promove menores valores de biomassa e, em contrapartida, maior atividade e estresse microbianos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIVEN, S.; MENASSERI, S.; CHENU, C. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – a literature analysis. **Soil Biology & Biochemistry**, n. 41, p. 1-12, 2008.

ALMEIDA, V.P.; ALVES, M.C.; SILVA, E.C.; OLIVEIRA, S.A. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em latossolo vermelho de cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 32, p. 1227-1237, 2008.

AMADO, T.J.C.; CONCEIÇÃO, P.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F. Qualidade do solo avaliada pelo “Soil quality kit test” em dois experimentos de longa duração no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 31, p. 109-121, 2007.

ANDERSON, J.P.E. Soil respiration. In : PAGE, A.L. ; MILLER, R.H. & KEENEY, D.R. eds. **Methods of soil analysis**. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America/American Society of Agronomy, 1982. p.831-845.

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO₂ ($q\text{CO}_2$) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.25, p.393-395, 1993.

ARATANI, R.G.; FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um latossolo vermelho acriférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 33, p. 677-687, 2009.

BARETTA, D.; BARETTA, C.R.D.M.; CARDOSO, E.J.B.N. Análise multivariada de atributos microbiológicos e químicos do solo em florestas com *Araucaria angustifolia*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 32, p. 2683-2691, 2008, número especial.

BARRETO, A.C.; FREIRE, M.B.G.S.; NACIF, P.G.S.; ARAÚJO, Q.R.; FREIRE, F.J.; INÁCIO, E.S.B. Fracionamento físico e químico do carbono total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 32, p. 1471-1478, 2008.

BASTOS, R.S.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ, V.H.; CORRÊA, M.M.; COSTA, L.M. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.9. p.389-395. 2005.

BERTOL, L.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas a do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 28, p. 155-163, 2004.

BLANCHARD, R.W.; REHM, G.; CALDWELL, A.C. Sulfur in plant material digestion with nitric and perchloric acid. **Soil Science Society American Proceedings**, Madison, v.29, n.1, p.71-72. 1965.

BONA, F.D.; BAYER, C.; BERGAMASCHI, H.; DIECKOW, J. Carbono orgânico no solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 30, p. 911-920, 2006.

BORGES, J.R.; PAULETTO, E.A.; SOUSA, R.O.; GOMES, A.S.; SILVA, J.B. LEITZKE, V.W. Agregação de um gleissolo submetido a sistemas de cultivo e culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 29, p. 21-31, 2003.

BRANCALIAO, S.R.; MORAES, M.H. Alterações de alguns atributos físicos e das frações húmicas de um nitossolo vermelho na sucessão milheto-soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 32, p. 393-404, 2008.

BROOKES, P.C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.19, p.269-279, 1995.

CALEGARI, A.; FILHO, C.C.; FILHO, J.T.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M.F. Melhoria da agregação do solo através do sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, n. 2, p. 147-158, 2006.

CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 32, p. 1399-1407, 2008.

CAESAR-TONTHAT, T.C.; CAESAR, A.J.; GASKIN, J.F.; SAINJU, U.M.; BUSSCHER, W.J. Taxonomic diversity of predominant culturable bacteria associated with microaggregates from two different agroecosystems and their ability to aggregate soil in vitro. **Applied Soil Ecology**, n. 1, v. 36, p. 10-21, 2006.

CARAVACA, F.; ALGUACIL, M.M.; AZCÓN, R.; ROLDÁN, A. Formation of stable aggregates in rhizosphere soil of *Juniperus oxycedrus*: Effect of AM fungi and organic amendments. **Applied Soil Ecology**, n. 1, v. 33, p. 30-38, 2006.

CARVALHO, A.M.X.; VALE, H.M.M.; FERREIRA, E.M.; CORDERO, A.F.P.; BARROS, N.F.; COSTA, M.D. Atividade microbiana de solo e serepilheira em áreas povoadas com *Pinus elliottii* e *Terminalia ivorensis*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 32, p. 2709-2716, 2008, número especial.

CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 29, p. 777-788, 2005.

CONTI, F. **Regressão e correlação**. UFPA/Pará, Lab. Informática ICB, 04.nov.2009. Disponível em <<http://www.cultura.ufpa.br/dicas/biome/bioreg.htm>>. Acesso em: 22.fev.2009.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; MIELNICZUC, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 32, p. 323-332, 2008.

COSTA, A.; ALBUQUERQUE, J.A.; MAFRA, A.L.; SILVA, F.R. Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 33, p. 235-244, 2009.

DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. **Soil & Till**, n.11, p. 199-238, 1988.

DUFRANC, G.; DECHEN, S.C.F.; FREITAS, S.S.; CAMARGO, O.A. Atributos físicos, químicos e microbiológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 28, p. 505-517, 2004.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212p.

FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.4, p.991-996, 1999.

FILHO, J.T.; TESSIER, D. Characterization of soil structure and porosity under long-term conventional tillage and no-tillage systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.33, p.1837-1844, 2009.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; BRANDAO-JUNIOR, O.; KASCHUK, G.; SOUZA, R.A. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. **Applied Soil Ecology**, v. 42, n.3, p.288-296, 2009.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Monitoramento das estações convencionais**. Disponível em < <http://www.inmet.gov.br/sim/sonabra/convencionais.php>>. Acesso em: 04.out.2007.

IZQUIERDO, I.; CARAVACA, F.; ALGUACIL, M.M.; HERNÁNDEZ, G.; RONDÁN, A. Use of microbiological indicators for evaluating success in soil restoration after revegetation of a mining area under subtropical conditions. **Applied soil ecology**, n.30, p.3-10, 2005.

KASPER, M.; BUCHAN, G.D.; MENTLER, A.; BLUM, W.E.H. Influence of soil tillage systems of aggregate stability and the distribution of C and N in different aggregate fractions. **Soil and tillage research**, n.105, p.192-199, 2009.

KIEHL, E.J. **Manual de Edafologia: Relações solo-planta**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1979. 263p.

KOHLER, J.; CARAVACA, F.; AGUACIL, M. M; ROLDÁN, A. Elevated CO₂ increases the effect of an arbuscular mycorrhizal fungus and a plant-growth-promoting rhizobacterium on structural stability of a semiarid agricultural soil under drought conditions. **Soil Biology & Biochemistry**, v.41, p.1710-1716, 2009.

LANDIM, P.M.B. & CORSI, A.C. **Cálculo de superfícies de tendência, por regressão polinomial, pelo SURFER 6**. DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatémática,Texto Didático 05, 11 pp. 2001. Disponível em<<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 20.fev.2009.

LEAL, P.L.; STURMER, S.L.; SIQUEIRA, J.O. Occurrence and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in trap cultures from soils under different land use systems in the Amazon, Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.40, p.111-121, 2009.

LIMA, C.L.R.; PILLON, C.N.; SUZUKI, A.S.; CRUZ, L.E.C. Atributos físicos de um planossolo háplico sob sistemas de manejo comparados aos do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1849-1855, 2008.

MALY, S.; KRÁVOLEC, J.; HAMPEL, D. Effects of long-term mineral fertilization on microbial biomass, microbial activity, and the presence of r- and k-strategists in soil. **Biology and Fertility of Soils**, v.45, p.753-760, 2009.

MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.703-709, 1999.

MELO, V.F.; MOURA, R.; TOLEDO, F.H.; LIMA, V.C.; GHIDIN, A.A. Morfologia de agregados de latossolo bruno e vermelho do estado do Paraná, avaliada por imagens obtidas em scanner. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 32, p. 85-99, 2008.

MELLONI, R.; CARDOSO, E.J.B.N. Quantificação de micélio extraradicular de fungos micorrízicos arbusculares em plantas cítricas - I: método empregado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 53- 58, jan./mar. 1999.

MENDES, I.C.; SOUZA, L.V.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Propriedades biológicas em agregados de um latossolo vermelho-escuro sob plantio convencional e direto no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 27, p. 435-443, 2003.

MOREIRA, M.; BARETTA, D.; TSAI, S.M.; GOMES-DA-COSTA, S.M.; CARDOSO, E.J.B.N. Biodiversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in *Araucaria angustifolia* forest. **Science Agriculture**, v.64, p. 393-399, 2007.

NÓBREGA, J.C.A.; LIMA, J.M.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; MOTTA, P.E.F. Fosfato e micorriza na estabilidade de agregados em amostras de latossolos cultivados e não-cultivados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 11, v. 36, p. 1425-1435, 2001.

NOGUEIRA, M.A.; CARDOSO, E.J.B.N. Produção de micélio externo por fungos micorrízicos arbusculares e crescimento da soja em função de doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 329- 338, 2000.

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

OLIVEIRA, J.B. **Pedologia Aplicada**. Piracicaba: FEALQ, 3. ed., 2008, 592 p.

OLIVEIRA, J.T.; MOREAU, A.M.S.S.; PAIVA, A.Q.; MENEZES, A.A.; COSTA, O.V. Características físicas e carbono orgânico de solos sob diferentes tipos de uso da terra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 32, p. 2821-2829, 2008, Número Especial.

PASSARIN, A.L.; RODRIGUEIRO, E.L.; ROBAINA, C.R.P.; MEDINA, C.C. Caracterização de agregados em um latossolo vermelho distroférico típico submetido a diferentes doses de vinhaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 31, p. 1255-1260, 2007.

PAZ-FERRERO, J.; CEPEDA, T.; LEIRÓS, M.C.; SEOANE, S.; GIL-SOTRES, F. Biochemical properties in managed grassland soils in a temperate humid zone: modifications of soil quality as a consequence of intensive grassland use. **Biol Fertil Soils**, n. 45, p. 711-722, 2009.

PASSOS, R.R.; RUIZ, H.A.; MENDONÇA, E.S.; CANTARUTTI, R.B.; SOUZA, A.P. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um latossolo vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 31, p. 1119-1129, 2007.

PORTUGAL, A.F.; COSTA, O.D.V.; COSTA, L.M.; SANTOS, B.C.M. Atributos físicos e químicos de um cambissolo háplico Tb distrófico sob diferentes usos na zona da mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 32, p. 249-258, 2008.

PULROLNIK, K.; BARROS, N.F.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; BRANDANI, C.B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no vale do Jequitinhonha - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 33, p. 1125-1136, 2009.

PUPIN, B.; FREDDI, O.S.; NAHAS, E. Microbial alterations of the soil influenced by induced compaction. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 33, p. 1207-1213, 2009.

SALTON, J.C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul/RS, 2005.

SALTON, R.S.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ, V.H.; CORRÊA, M.M.; COSTA, L.M. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 32, p. 11-21, 2008.

SANTOS, A.C.; SALCEDO, I.H.; GALVÃO, S.R.S. Relações entre uso do solo, relevo e fertilidade do solo, em escala de microbacia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, n. 5, p. 458-464, 2005.

SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.; GRISI, B.M.; HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. **Microorganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília, DF: Embrapa, 1994. 142p. (Documento, 45).

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

SOLER, M.A. **Agregação e atributos físico-hídricos do solo em sistemas conservacionistas de manejo**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Santa Catarina/SC, 2003.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; LIMA, C.V.S.; ANGHINONI, I.; MEURER, E.J.; CARVALHO, P.C.F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 32, p. 1273-1282, 2008.

SOUZA, Z.M.; JÚNIOR, J.M.; PEREIRA, G.T.; SÁENZ, C.M.S. Spatial variability of aggregate stability in latosols under sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 33, p. 245-253, 2009.

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

TISDALL, J. M. e OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **Journal of Soil Science**, n. 33, p. 141-163, 1982.

VEIGA, M.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Aggregate stability as affected by short and long term-tillage systems and nutrient sources of a hapludox in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 33, p. 766-777, 2009.

VETTORI, L. **Métodos de análises do solo**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico 7).

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

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um latossolo vermelho sob diferentes manejos. **Pesq.Agropec.Bras.**, v. 40, p. 487- 494, 2005.

WICK, A.F.; INGRAM, L.J.; STAHL, P.D. Aggregate and organic matter dynamics in reclaimed soils as indicated by stable carbon isotopes. **Soil Biology and Biochemistry**, n. 41, p. 201-209, 2009.

WOHLENBERG, E.V.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 28, p. 891-900, 2004.

ZORNOZA, R.; GUERRERO, C.; MATAIX-SOLERA, K.M.; SCOW, V.; ARCENEGUI e J. MATAIX-BENEYTO. Changes in soil microbial community structure following the abandonment of agricultural terraces in mountainous areas of Eastern Spain. **Applied Soil Ecology**, n. 42, p. 315-323, 2009.