

PATRICIA INES CARNERO PALACIOS



Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Pedologia e Manejo do Solo, Linha de Pesquisa Física, Manejo e Qualidade do Solo e da Água, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Dr. Renato Dedeczek

Co-Orientador: Prof. Dr. Jeferson Dieckow
Dr. Luciano Montoya

CURITIBA

2010

PATRICIA INÉS CARNERO PALACIOS

**SISTEMAS DE CULTIVO DE ERVA-MATE: ATRIBUTOS FÍSICOS,
INDICADORES DE QUALIDADE E ESTOQUE DE CARBONO NUM
LATOSSOLO VERMELHO ALUMINOFÉRRICO**

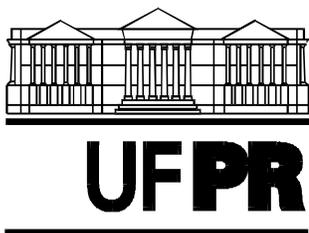
Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Pedologia e Manejo do Solo, Linha de Pesquisa Física, Manejo e Qualidade do Solo e da Água, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Dr. Renato Dedecek

Co-Orientador: Prof. Dr. Jeferson Dieckow
Dr. Luciano Montoya

CURITIBA

2010



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-3350-5648
Página: www.pgcisolo.agrarias.ufpr.br/
E-mail: pgcisolo@ufpr.br

P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **PATRICIA INÉS CARNERO PALACIOS**, sob o título: "**Sistemas de cultivo de erva-mate: Atributos físicos, indicadores de qualidade e estoque de carbono de um Latossolo Vermelho alumino férrico**", requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo – Área de Concentração: Pedologia e Manejo do Solo, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haverem analisado o referido trabalho e argüido a candidata, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração: "Pedologia e Manejo do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 30 de março de 2010.

Eng°. Agr°. Dr. Renato Antonio Dedecek, Presidente.

Pesquisador Dr. Luciano Javier Montoya Vilcahuamán, I°. Examinador.

Prof. Dr. Jeferson Dieckow, II°. Examinador.

Aos meus pais, Pedro e Gladys

E aos meus irmãos José, Pedro e Mary

Pelo apoio constante e por eles serem a força para o começo, realização e
conclusão desta dissertação

DEDICO

Carnero Palacios, Patricia Inés

Sistemas de cultivo de erva-mate: atributos físicos, indicadores de qualidade e estoque de carbono num Latossolo Vermelho Aluminoférrico / Patricia Inés Carnero Palacios. – Curitiba, 2010. 92 f. : il.

Orientador: Renato Dedecek

Co-orientadores: Jeferson Dieckow

Luciano Montoya

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 2009

1. Erva-mate – Cultivo. 2. Solos – Qualidade. 3. Biologia do solo. I. Dedecek, Renato. II. Dieckow, Jeferson. III. Montoya, Luciano. IV. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. V. Título

CDU 633.77:641.412

AGRADECIMENTOS

Ao curso de Pós-graduação em Ciência do solo que possibilitou minha participação no programa.

Ao Pesquisador Orientador Dr. Renato Dedeczek e ao Professor Co-Orientador Dr. Jeferson Dieckow, pela orientação e estímulo. Ao pesquisador Dr. Luciano Montoya pelo continuo apoio e valiosos aportes no trabalho.

A APROMATE e EMBRAPA FLORESTAS por terem facilitado o contato com os produtores e pelo apoio logístico.

A CAPES pela bolsa de mestrado.

A todos os amigos e aos colegas do mestrado.

Aos professores e funcionários do Departamento.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para que este trabalho pudesse ser concluído.

RESUMO

Mudanças climáticas registradas nos últimos anos têm sido atribuídas ao aumento na concentração dos gases de efeito estufa (GEE) produzido a partir da Revolução Industrial. A existente preocupação tem gerado diversas estratégias para conter o aumento dos GEE. Assim, o seqüestro de carbono constitui uma das principais estratégias para a mitigação do aquecimento global. Dentro dos sistemas terrestres mais importantes para estocar carbono estão as florestas e os sistemas agroflorestais (SAF). No Sul do Brasil, a erva-mate constitui o componente principal de um dos SAF mais antigos e importantes da região, assim o cultivo dela é muito difundido na agricultura familiar. Além dos benefícios econômicos e sociais, o cultivo da erva apresenta potencial de seqüestro de carbono por ser uma cultura perene e estar em constante crescimento e regeneração da sua biomassa nos intervalos de colheita (Alegre *et al.*, 2007). Neste sentido é finalidade deste trabalho avaliar o seqüestro de carbono no solo em três sistemas de produção com erva mate e em um erval nativo visando valorar o aporte deste benefício ambiental na sustentabilidade dos sistemas. Além disso avaliaram-se as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, para assim identificar diferenças na qualidade do solo dos sistemas de produção e determinar o melhor sistema. Quanto ao estoque total de carbono, estatisticamente não houve diferença entre os sistemas. Já quando avaliados as frações labéis de matéria orgânica, estabilidade de agregados, e quociente microbiano o erval nativo seguido do sistema arborizado apresentaram os melhores índices, refletindo a baixa sensibilidade do carbono orgânico total em refletir mudanças súbitas nos ecossistemas.

Palavras-chave: *Ilex paraguariensis* St. Hil, análise comparativa, SAFs, carbono lábil, qualidade do solo.

ABSTRACT

Climate changes in lately years have been attributed to the increase in concentration of greenhouse gases (GHGs) produced since the Industrial Revolution. The existing concern has generated several strategies to contain the increase of GHGs. Carbon sequestration is one of the main strategies for the mitigation of global warming. Among the most important terrestrial systems to store carbon are the forests and the agroforestry systems. In southern Brazil, yerba mate is the main component of one of the oldest and most important agroforestry systems at the region; the cultivation is widespread in family farming. In addition to the economic and social benefits, the cultivation of yerba mate has potential for carbon sequestration for being a perennial crop and due to its constant growth and regeneration of the biomass in the harvest intervals (Alegre *et al.*, 2007). In this sense, the purpose of this study was to assess carbon sequestration in soil in three production systems with yerba mate and a native herbal in order to value the contribution of this benefit to the environmental sustainability of systems. Furthermore, it was evaluated physical, chemical and biological attributes to identify differences in soil quality of the production systems and to determine the best production system. There was no statistical difference between the systems on the total carbon stock. However, numerically the native system and the system with historical of intercropping had higher values, while the herbal and the homogeneous system got the lower values. When it was evaluated the labile organic matter, aggregate stability, microbial quotient the native herbal followed by the system with native tree species showed the best results, reflecting the low sensitivity of the TOC to detect sudden changes in ecosystems.

Key Words: *Ilex paraguariensis* St. Hil, comparative analysis, Agroforestry Systems, Labil Carbon, Carbon Stock, Soil quality.

LISTAS DE FIGURAS

FIGURA 1.1-DENSIDADE DO SOLO NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM ERVA-MATE.....	26
FIGURA 1.2-POROSIDADE TOTAL DO SOLO NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM ERVA-MATE.....	28
FIGURA 1.3-MACROPOROSIDADE DO SOLO NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM ERVA-MATE	31
FIGURA 1.4-MICROPOROSIDADE DO SOLO NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM ERVA-MATE.....	34
FIGURA 1.5-TEOR DE CARBONO DO SOLO NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM ERVA-MATE.....	38
FIGURA 1.6-ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO A 0,30 E 1 m DE PROFUNDIDADE EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ERVA-MATE.....	40
FIGURA 2.1-ÍNDICE DE ESTABILIDADE DE AGREGADOS NAS PROFUNDIDADES DE 0-5 E 5-10 EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ERVA-MATE.....	67
FIGURA 2.2-CARBONO DA FRAÇÃO LEVE LIVRE E LEVE OCLUSA NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ERVA-MATE.....	69
FIGURA 2.3-CORRELAÇÕES ENTRE CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) E A) ÍNDICE DE ESTABILIDADE DE AGREGADOS (IEA), B) CARBONO HIDROLISADO, C) CARBONO RESISTENTE A HIDRÓLISE E D) CARBONO DA FRAÇÃO PESADA.	78
FIGURA 2.4-CORRELAÇÕES ENTRE ÍNDICE DE ESTABILIDADE DE AGREGADOS (IEA) E A) CARBONO EXTRAÍVEL EM ÁGUA QUENTE (HWC), B) CARBONO DA FRAÇÃO LEVE LIVRE (FLL), C) CARBONO DA FRAÇÃO LEVE OCLUSA (FLO) E D) CARBONO DA FRAÇÃO LIVRE TOTAL (FL).....	79
FIGURA 2.5-CORRELAÇÕES ENTRE CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA E A) ÍNDICE DE ESTABILIDADE DE AGREGADOS, B) CARBONO EXTRAÍVEL EM ÁGUA QUENTE (HWC), C) CARBONO DA FRAÇÃO LEVE LIVRE (FLL), D) CARBONO DA FRAÇÃO LEVE OCLUSA (FLO), E) CARBONO DA FRAÇÃO LEVE TOTAL (FL)....	80
FIGURA 2.6-ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DAS MÉDIAS DOS ATRIBUTOS INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO.....	82

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1-PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO POR CAMADA E POR SISTEMA DE EXPLORAÇÃO.....	22
TABELA 1.2-PROPRIEDADES GRANULOMÉTRICAS DO SOLO POR CAMADA E POR SISTEMA DE EXPLORAÇÃO	23
TABELA 1.3-DENSIDADE DO SOLO (Mg m^{-3}) NAS LINHAS E ENTRELINHAS DOS SISTEMAS CULTIVADOS.....	25
TABELA 1.4-POROSIDADE TOTAL ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) NAS LINHAS E ENTRELINHAS DOS SISTEMAS CULTIVADOS.....	27
TABELA 1.5-MACROPOROSIDADE ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) NAS LINHAS E ENTRELINHAS DOS SISTEMAS CULTIVADOS.....	30
TABELA 1.6-MICROPOROSIDADE ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) NAS LINHAS E ENTRELINHAS DOS SISTEMAS CULTIVADOS.....	33
TABELA 1.7-POROSIDADE DE AERAÇÃO ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) NAS LINHAS E ENTRELINHAS DOS SISTEMAS CULTIVADOS.....	36
TABELA 1.8-POROSIDADE DE AERAÇÃO ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM ERVA-MATE.....	36
TABELA 2.1-CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS SOLOS POR CAMADA E POR SISTEMA DE EXPLORAÇÃO	61
TABELA 2.2-COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS SOLOS POR CAMADA E POR SISTEMA DE EXPLORAÇÃO.....	62
TABELA 2.3-TEOR DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL.....	63
TABELA 2.4-DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO SECO (DMPS), MACRO AGREGADOS SECOS (MAAS), MICRO AGREGADOS SECOS (MIAS) NAS PROFUNDIDADES DE 0-5 cm E 5-10 cm.....	67
TABELA 2.5-DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO SECO (DMPU), MACRO AGREGADOS ÚMIDOS (MAAU), MICRO AGREGADOS ÚMIDOS (MAIU) NA PROFUNDIDADE DE 0-5 cm e 5-10 cm.....	67
TABELA 2.6-CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA C_{mic} , NITROGÊNIO BIOMASSA MICROBIANA N_{mic} , RESPIROMETRIA, QUOCIENTE MICROBIANO Q_{mic} , QUOCIENTE METABÓLICO q_{CO_2} NA CAMADA DE 0-5 cm.....	71
TABELA 2.7-CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA C_{mic} , NITROGÊNIO BIOMASSA MICROBIANA N_{mic} , RESPIROMETRIA, QUOCIENTE MICROBIANO Q_{mic} , QUOCIENTE METABÓLICO q_{CO_2} NA CAMADA DE 5-10cm.....	71
TABELA 2.8-CARBONO EXTRAÍVEL COM ÁGUA QUENTE (HWC).....	72
TABELA 2.9-CARBONO ORGANICO LIBERADO NA HIDROLISE ÁCIDA.....	74
TABELA 2.10-CARBONO ORGANICO RESISTENTE A HIDROLISE ÁCIDA.....	75

SUMÁRIO

I. INTRODUÇÃO GERAL.....	10
1. LITERATURA CITADA.....	12
II. CAPITULO 1- “PROPRIEDADES FÍSICAS E ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ERVA MATE NO MUNICIPIO DE MACHADINHO-RS”.....	13
2.1 RESUMO.....	13
2.2 ABSTRACT.....	14
2.3 INTRODUÇÃO.....	15
2.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
2.4.1 O LOCAL.....	17
2.4.2 SISTEMAS AVALIADOS.....	17
2.4.3 METODOLOGIA.....	18
2.4.3.1 PROCEDIMENTO DE AMOSTRAGEM.....	18
2.4.3.2 ANÁLISES.....	19
2.4.3.2.1 GRANULOMETRIA.....	19
2.4.3.2.2 ATRIBUTOS FÍSICOS.....	19
2.4.3.2.2.1 DENSIDADE	19
2.4.3.2.2.2 POROSIDADE TOTAL, MACROPOROSIDADE E MICROPOROSIDADE.....	20
2.4.3.2.2.3 CARBONO ORGÂNICO TOTAL.....	20
2.4.3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	20
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	21
2.5.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA.....	21
2.5.2 ATRIBUTOS FÍSICOS.....	24
2.5.2.1 DENSIDADE.....	24
2.5.2.2 POROSIDADE TOTAL.....	27
2.5.2.3 MACROPOROSIDADE	29
2.5.2.4 MICROPOROSIDADE	32
2.5.2.5 POROSIDADE DE AERAÇÃO.....	34
2.5.3 TEOR DE CARBONO	37
2.5.4 ESTOQUE DE CARBONO	39
2.6 CONCLUSÕES.....	41
2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
III. CAPITULO 2 - “INDICADORES FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DA QUALIDADE DE UM LATOSSOLO VERMELHO ALUMINOFÉRRICO SOB CULTIVO DE ERVA-MATE (<i>Ilex paraguariensis</i> St. Hil)”.....	47
3.1 RESUMO.....	47
3.2 ABSTRACT.....	48
3.3 INTRODUÇÃO.....	49
3.4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	51

3.4.1	O LOCAL.....	51
3.4.2	SISTEMAS AVALIADOS.....	51
3.4.3	PROCEDIMENTO DE AMOSTRAGEM.....	52
3.4.4	ANALISES REALIZADAS.....	53
3.4.4.1	ESTABILIDADE DE AGREGADOS.....	53
3.4.4.1.1	DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO SECO (DMPs) DE AGREGADOS.....	53
3.4.4.1.2	DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO ÚMIDO (DMPu) DE AGREGADOS.....	54
3.4.4.1.3	ÍNDICE DE ESTABILIDADE AGREGADOS.....	54
3.4.4.2.	FRACIONAMENTO DENSIMETRICO.....	54
3.4.4.3	CARBONO ORGÂNICO TOTAL.....	57
3.4.4.4	ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS.....	57
3.4.4.5	CARBONO LABIL POR METODOLOGIAS QUÍMICAS.....	58
3.4.4.5.1	HWC (Hot water extractable carbon).....	58
3.4.4.5.2	Hidrolise ácida	58
3.4.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	60
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	60
3.5.1	CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS SOLOS.....	60
3.5.2	CARBONO ORGÂNICO TOTAL.....	62
3.5.3	ESTABILIDADE DE AGREGADOS.....	63
3.5.4	CARBONO DA FRAÇÃO LEVE.....	68
3.5.5	ÍNDICES MICROBIOLÓGICOS.....	70
3.5.6	CARBONO EXTRAÍVEL COM ÁGUA QUENTE (HWC).....	72
3.5.7	CARBONO HIDROLISADO.....	73
3.5.8	CARBONO RESISTENTE À HIDROLISE.....	74
3.5.9	RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS.....	75
3.5.9.1	RELAÇÕES ENTRE O COT E OUTROS ATRIBUTOS.....	75
3.5.9.2	VARIÁVEIS RELACIONADAS AO IEA.....	76
3.5.9.3	CORRELAÇÕES COM ATRIBUTOS BIOLÓGICOS.....	77
3.5.9.4	ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS..	81
3.6	CONCLUSÕES.....	83
3.7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
III.	CONCLUSÕES GERAIS.....	92

I. INTRODUÇÃO GERAL

Com a finalidade de reverter às quantidades crescentes do CO₂ na atmosfera contempla-se o seqüestro de carbono. Este conceito foi consagrado pela Conferência de Kyoto em 1997 (Chang, 2004). Desde então, e ainda mais nestes últimos anos o Mercado de carbono tem-se tornado importante devido às preocupações existentes pelas mudanças climáticas produto das emissões de gases de efeito estufa.

O conceito de seqüestro de carbono se refere à fixação de carbono em qualquer Sistema de Uso da Terra (SUT). Esta fixação pode aumentar através do manejo do solo com reflorestamentos, sistemas agroflorestais e práticas de conservação de solos. Os ecossistemas terrestres, que compreendem a vegetação e o solo, são considerados atualmente como um grande sumidouro de carbono, especialmente os solos (Arévalo *et al.*, 2002).

Existem cinco principais reservatórios de carbono. O oceano é o maior sumidouro contendo aproximadamente 38000 Pg, seguido do geológico (5000 Pg), pedológico (2500 Pg), biótico (760 Pg) e o sumidouro atmosférico (560 Pg). Todos estes compartimentos de carbono se encontram interconectados, dessa forma o carbono pode mudar de um reservatório para outro gerando o ciclo do carbono na terra. A mudança do carbono entre os compartimentos pode ser acelerada pela atividade antrópica e vem crescendo com o aumento da população (Lal, 2004).

Frações lábeis do carbono orgânico do solo como o carbono da biomassa microbiana, têm taxas muito rápidas de decomposição e por tanto saem facilmente do sistema e não contribuem significativamente ao seqüestro de carbono no solo. As frações estáveis humificadas e protegidas são as frações mais significativas no seqüestro de carbono no solo (Silveira *et al.*, 2008). Por outro lado, a rápida remoção do carbono lábil do solo faz com que esta fração seja particularmente importante em respostas às mudanças do clima e cobertura do solo. Diversos estudos indicam que mudanças no uso do solo afetam os estoques do carbono lábil em maior grau que os estoques do carbono estável (Marland, 2004).

Entre os projetos para armazenamento de carbono, destacam-se os da área florestal e agroflorestal, e dentro dos sistemas de produção mais freqüentes e interessantes no Sul do Brasil a serem avaliados para este propósito, encontra-se o Sistema de Uso da Terra com a cultura da erva-mate.

O cultivo da erva mate desempenha importante papel econômico, social e cultural na região sul do Brasil. As propriedades em que ela é cultivada são em sua maioria, pequenas e médias onde a produção e industrialização asseguram importante alternativa de renda e uso da mão-de-obra familiar. Atualmente é possível perceber mudanças na forma dos sistemas produtivos, aonde aspectos relativos à sustentabilidade ambiental vêm assumindo importância cada vez maior na matriz produtiva (Montoya, 1994).

Além dos benefícios sociais e econômicos a erva-mate apresenta grande potencial de proporcionar serviços ambientais como o de seqüestro de carbono, devido ao grande volume de biomassa produzida durante seus períodos de colheita (podas) e de carbono reciclado no solo (Alegre et al., 2007).

Nesse sentido, é finalidade deste estudo avaliar o seqüestro de carbono no solo em três sistemas de produção de erva mate (ervais em plantios homogêneos, arborizados e com cultivos agrícolas) e um erval nativo. O estudo visa também avaliar a fração lábil e recalcitrante do carbono orgânico, assim como atributos físicos e biológicos do solo nos diferentes sistemas para verificar alterações deles com a mudança do sistema de exploração de erva-mate.

O primeiro capítulo desta dissertação inclui a caracterização das propriedades físicas e do estoque de carbono dos diversos sistemas de produção de erva- mate avaliados na área de estudo, e o segundo capítulo avalia diversas propriedades do solo e analisa sua idoneidade como indicadores de qualidade do solo.

1.1 LITERATURA CITADA

ALEGRE, J.; MONTOYA, L.; CORREA, G. Geração das curvas alométricas para avaliar as reservas de carbono em plantios de erva mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill), no sul do Brasil. **Boletim n. 33. Embrapa Florestas**. Colombo, PR. 2007.

ARÉVALO, L. ; ALEGRE, J.C; MONTOYA, L. J. V. Metodologia para estimar o Estoque de Carbono em diferentes Sistemas de uso de terra. **Embrapa Florestas. Documentos 73**. p. 11-24. 2002.

CHANG, M. Y. Seqüestro florestal do carbono no Brasil: dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas. Curitiba, 2004. 276 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiental e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**. Elsevier Science B.V. Amsterdam. n. 123. p. 1-22. 2004.

MARLAND, G.; GARTEN, C. T; POST, W. M; WEST, T.O. Studies on Enhancing Soil Organic. **Energy**. Elsevier Science Ltd. UK. n.29, p. 1643-1650. 2004.

MONTOYA, L.J.; MAZUCHOWSKI, J.Z. Estado da arte dos SAF's na região sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1 ENCONTRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NOS PAÍSES DO MERCOSUL, 1., 1994, Porto Velho. Anais. Colombo: Documentos, 27.EMBRAPA-CNPQ. v.1. p.77-96. , 1994.

SILVEIRA, M.L.; COMERFORD, M. B; REDDY, K.R; COOPER, W.T; EL-RIFAI, H. Characterization of Soil Organic Pools by Acid Hydrolysis. **Geoderma**. Elsevier Science B.V. Amsterdam, n.144, p. 405-414. 2008.

II. CAPITULO 1- “PROPRIEDADES FÍSICAS E ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ERVA MATE NO MUNICÍPIO DE MACHADINHO-RS”

2.1 RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo determinar as propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Aluminoférrico sob cultivo de erva-mate (*Ilex Paraguariensis* St. Hil) e calcular o estoque total de carbono no solo nos diferentes sistemas de produção. Para isso avaliaram-se quatro sistemas: um erval homogêneo sem histórico de consorcio (EH), um erval homogêneo que teve consorcio com culturas agrícolas nos primeiros 4 anos (AG), um sistema de erva mate arborizada com espécies nativas (FL), e um erval nativo remanescente (ENA). O estudo foi realizado no Município de Machadinho no estado do Rio Grande do Sul. A avaliação das propriedades físicas foi feita seguindo a metodologia de rotina da EMBRAPA e a determinação do carbono no solo foi feita por combustão seca em analisador elementar Vario EL. Os resultados obtidos quanto às propriedades físicas não apresentaram grandes diferenças, demonstrando que as práticas de cultivo da erva-mate no município não afetam negativamente as propriedades do solo. Concluiu-se também que o estoque de carbono no solo até 100 cm de profundidade não apresentou diferença significativa entre os sistemas.

Palavras-Chave: SAF, Carbono orgânico total, porosidade do solo

2.2 ABSTRACT

The objective of this study was to determine the physical properties of an Oxisol under cultivation of yerba mate (*Ilex Paraguariensis* St. Hill) and to calculate the total stock of soil carbon in the different production systems. For that it was evaluated four systems: a homogeneous herbal without historical of intercropping (EH), a homogeneous herbal with historical of intercropping during the first 4 years (AG), a homogeneous herbal consorciated with native species (FL), and a native herbal (ENA). The study was conducted in the municipality of Machadinho in the state of Rio Grande do Sul, the evaluation of physical properties was made following the routine methodology of EMBRAPA and the determination of carbon in the soil was conducted by dry combustion in an elemental analyzer Vario EL. The results obtained for physical properties did not show big differences, demonstrating that the cultivation practices of yerba mate do not negatively affect soil properties. It was also concluded that the total carbon storage in the soil to 100 cm depth showed no significant differences between the systems.

Key-words: *Agroforestry Systems, Total organic carbon, soil porosity.*

2.3 INTRODUÇÃO

Os solos destinados à agricultura e plantações florestais representam importantes sumidouros de carbono.

O teor de carbono reflete os níveis de matéria orgânica no solo e estes afetam atributos físicos como a agregação do solo, densidade, porosidade, aeração, capacidade de retenção e infiltração.

Segundo Bayer e Mielniczuk (1999) a quantidade total de carbono num solo depende principalmente do tipo de solo, do sistema de manejo, e da cobertura. Os efeitos que os sistemas de manejo exercem sobre a formação e estabilização dos atributos físicos criam condições de equilíbrio físico distintos e são responsáveis pela dinâmica do sistema solo, podendo ser desfavoráveis ou não para conservação do solo.

Existe cada vez maior interesse na identificação dos sistemas de manejo de culturas que promovam a melhoria do estoque de carbono no solo (FREITAS et al., 1995).

Os sistemas agroflorestais constituem uma alternativa de produção agropecuária que minimiza o efeito da intervenção humana. Por virtude da consorciação de várias espécies dentro de uma área, eleva-se a diversidade do ecossistema e são aproveitadas as interações benéficas entre as plantas de diferentes ciclos, portes e funções (Sanchez, 1995; Young, 1997).

Albrecht e Kadji (2003) evidenciaram que a implantação de sistemas agroflorestais, em geral, tem bom potencial de seqüestro de carbono destacando entre eles aqueles onde predomina o componente arbóreo perene, pois estes sistemas podem estocar e conservar quantidades significativas de carbono na biomassa viva e no lenho.

No sul de Brasil a erva mate constitui um dos principais sistemas produtivos. A importância socioeconômica desta cultura radica no fato de que as propriedades em que ela é cultivada são em sua maioria, pequenas e médias onde a produção e industrialização asseguram importante alternativa de renda e uso da mão-de-obra familiar (Montoya, 1999).

Na região Sul do Brasil, a erva-mate é explorada economicamente em aproximadamente 482 municípios dos estados de Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e também no Mato Grosso do Sul. A cultura abrange cerca de 180.000 propriedades rurais, sendo a maior parte familiar, congregando cerca de 600 empresas industriais, e mais de 700.000 trabalhadores (Schirmer, 2001).

Além disso, a erva-mate apresenta grande potencial de proporcionar serviços ambientais como o de seqüestro de carbono, dado a seu grande volume de biomassa produzida durante seus períodos de colheita (podas) e de carbono reciclado no solo (Alegre et al., 2007).

A exploração de erva-mate está associada, em geral, a três modalidades: o extrativismo, onde as colheitas se dão com intervalos de 3 a 5 anos em ervais nativos formados naturalmente em sub-bosques dos remanescentes da mata com araucária; o semi-extrativismo onde árvores nativas são poupadas quando da mobilização das áreas de mata com araucária para a agricultura e pecuária e as colheitas são feitas de 2 a 4 anos, e por último o plantio de ervais podendo ser estabelecidos de forma solteira, com uma diversidade de espaçamentos, nos quais os intervalo de colheita variam de 12, 18 e 24 meses, e ervais plantados em associação com cultivos agrícolas nas entre linhas e/ou com pastagem incluindo o componente animal. A cultura da erva mate atinge a maturação agrônômica a partir do quarto ano, com vida útil variando de 35 a 40 anos (EMBRAPA, 2003)

Nesse sentido, é finalidade deste estudo avaliar os atributos físicos e o estoque de carbono no solo em três sistemas de produção de erva mate (erval em plantio homogêneo, arborizado e com cultivo agrícola) e um erval nativo.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

2.4.1 O LOCAL

O estudo foi realizado no Município de Machadinho no Estado de Rio Grande do Sul. Machadinho localiza-se na região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, a 27° 34'01" de latitude sul e 51° 40'04" de longitude oeste, estando a uma altitude média de 757 metros acima do nível do mar.

Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante é do tipo Cfa, temperado úmido, com temperatura média anual de 18°C, precipitação média anual de 2098 mm/ano e altitude de 757 m. O tipo de solo do local é Latossolo Vermelho Aluminoférrico muito argiloso (EMATER-RS. Escritório local).

2.4.2 SISTEMAS AVALIADOS

Foram avaliados quatro sistemas de produção de erva mate:

- **Erval solteiro (plantio homogêneo).**

Erval plantado com 7 anos de idade na distancia de 2,5 nas entrelinhas e 1,5 nas linhas. É o sistema mais comum de produção dentro do município sem plantio de culturas anuais nas entrelinhas.

- **Erval homogêneo com histórico de consorcio com cultivos agrícolas**

Erval com 7 anos de idade plantado em igual distanciamento que o erval homogêneo, mas que teve histórico de plantio de milho e aveia nas entrelinhas até os quatro anos de idade do erval.

- **Erval arborizado com outras espécies florestais**

Este sistema consiste no plantio da erva-mate no distanciamento de 1,5 x 2,5 (2.440 mudas de erva-mate por hectare) com a introdução de árvores de espécies nativas (222 árvores de sombreamento), plantadas dentro das linhas de erva-mate, no espaçamento de 7,50 x 6,0 m. O objetivo deste consórcio é melhorar a qualidade do produto aproximando o plantio às condições naturais de ocorrência da erva-mate. Este sistema tem também sete anos de idade e as espécies usadas no sombreamento são "Canafístula" *Peltophorum dubium*; "Ipê amarelo" *Tabebuia*

chrysotriche, “Ipê roxo” *Tabebuia avellanadae*, “Pitanga” *Eugenia uniflora*, “Cedro” *Cedrela fissilis*, “Cabela do brejo” *Machaerium stipitatum*, “Cerejeira” *Eugenia involucrata*, “Guaçatunga” *Casearia decandra*, “Uvaia” *Eugenia pyriformis*, “Ameixa” *Canjerana Cabralea canjerana*, “Canforeira” *Cinnamomum zeylanicum*, “Louro pardo” *Cordia Trichotoma*).

- **Erval nativo**

Erval nativo remanescente da exploração de uma floresta ombrofila mista onde foi retirada grande parte das outras espécies com presença de algumas araucárias remanescentes, vegetação arbustiva e gramíneas. Apresenta uma aparência de área semi-aberta, com presença importante de serapilheira.

2.4.3 METODOLOGIA

2.4.3.1 PROCEDIMENTO DE AMOSTRAGEM

As coletas do material foram feitas na última semana do mês de julho de 2008 em propriedades particulares de agricultores familiares do Município de Machadinho no Estado do Rio Grande do Sul.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. Em cada sistema avaliado foram retiradas amostras de solo indeformadas nas profundidades de: 0 a 10; 10 a 20; 20 a 30; 30 a 50 e 50 a 100 cm, em mini-trincheiras utilizando anéis metálicos de volume conhecido e lacradas com fita.

Para isso foram abertas duas trincheiras por sistema, e coletados 3 anéis por profundidade. Essas amostras foram utilizadas para determinação da densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, e da curva de retenção de água.

Nessas profundidades foram coletadas também amostras com estrutura não preservada para a determinação da textura, análises de fertilidade e teores de carbono orgânico. Para este último (COT) foram coletadas também amostras das camadas de 0-5 e 5-10 cm. Os solos coletados sem estrutura preservada nas

repetições foram homogeneizados por camadas e realizando apenas uma análise por camada de cada solo.

Após a coleta das amostras no campo, estas foram transferidas para laboratório onde foram preparadas (secas ao ar, moídas e passadas em peneira de 2 mm) para a quantificação de carbono. As amostras para a densidade do solo foram secas a 105 °C até peso constante para a determinação da massa de solo.

2.4.3.2 ANALISES

2.4.3.2.1 GRANULOMETRIA

A análise granulométrica foi baseada no princípio da velocidade de queda das partículas, conforme a Lei de Stokes, utilizando como dispersante hidróxido de sódio, seguindo a rotina da EMBRAPA (1997).

2.4.3.2.2 ATRIBUTOS FÍSICOS

Nas amostras indeformadas foram realizadas as seguintes análises, segundo metodologia descrita em EMBRAPA-CNPS (1997): densidade do solo, macro, micro e porosidade total e curva de retenção de umidade do solo, nas tensões de 6, 10, 100 e 1500 KPa.

2.4.3.2.2.1 DENSIDADE

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, o qual se fundamenta no uso de um anel de bordas cortantes com volume conhecido. As amostras de solo com estrutura preservada, após as determinações da curva de retenção da água no solo foram levadas à estufa e obtidas a massa de solo seco e com a relação com o volume do anel foi calculado a sua densidade (EMBRAPA, 1997).

2.4.3.2.2.2 POROSIDADE TOTAL, MACROPOROSIDADE E MICROPOROSIDADE E POROSIDADE DE AERAÇÃO

As amostras em anel volumétrico foram saturadas com água por 12 h e submetidas a uma tensão de 6 kPa, pelo método da mesa de tensão (OLIVEIRA, 1968). Após um período de 24 h, as mesmas foram retiradas da mesa de tensão e

pesadas. Como microporosidade, considerou-se a umidade volumétrica contida na amostra após a retirada da mesa de tensão e como macroporosidade a diferença entre a umidade volumétrica em condição de saturação com água e microporosidade.

A porosidade de aeração foi determinada a partir dos dados de umidade volumétrica do solo na capacidade de campo (10 kPa), assumindo-se que esta corresponde ao teor de umidade retido no solo depois que o excesso de água gravitacional tenha sido drenado e o movimento descendente de água tenha decrescido significativamente (Moniz, 1972). Os atributos físicos do solo, bem como as análises de fertilidade, foram determinados de acordo com a metodologia da Embrapa (1997).

2.4.3.2.2.3 CARBONO ORGÂNICO TOTAL

A determinação da concentração de carbono orgânico total foi realizada nas mesmas amostras usadas para a determinação da granulometria e propriedades químicas (camadas de 10-20, 20-30, 30-50 , 50-100 cm) e nas camadas superficiais 0-5 e 5-10 cm , por combustão seca em analisador Vario EL III. Uma subamostra de aproximadamente 20 g de solo foi moída em gral até passar em peneira de 0,50 mm de malha. Dessa subamostra, aproximadamente 20 mg foram utilizados efetivamente para a análise. Para o calculo do estoque total de carbono, levou-se em consideração a densidade do solo em cada camada e o método de correção para camada equivalente utilizado por Sisti *et al.* (2004). Para as densidades do solo nas camadas de 0-5 cm e 5-10 cm, considerou-se a mesma da camada de 0-10 cm.

2.4.3.3 ANALISE ESTATISTICA

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e a comparação de médias foi feita pelo teste de Tukey no programa estatístico R. A análise estatística foi feita separadamente para cada camada.

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

2.5.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E GRANULOMETRICA

Nas tabelas 1.1 e 1.2 apresentam-se as características químicas e granulométricas, respectivamente.

A textura do solo, apesar de não ser um atributo dinâmico de qualidade do solo, tem um grande efeito no processo erosivo, pois influencia a desagregação pelo impacto das gotas da chuva bem como pelo escoamento superficial (Reichert et al., 1992).

Quanto à granulometria o solo avaliado caracteriza-se por possuir altos teores de argila em todo o perfil.

As análises químicas revelam altos teores de acidez potencial e alumínio em condição natural. Os valores de pH e do Ca são menores no erval nativo em comparação com os outros sistemas, evidenciando o uso de adubação nos cultivos intercalares à erva-mate.

TABELA 1.1 - PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO POR CAMADA E POR SISTEMA DE EXPLORAÇÃO

Sistema	Profundidade (cm)	pH _{CaCl₂}	K	Ca	Mg	Al	H*Al	P
ENA	0-10	3,69	0,32	0,38	0,60	3,71	17,85	5,13
	10-20	3,80	0,08	0,15	0,49	3,84	13,67	0,93
	20-30	3,89	0,09	0,31	0,54	3,87	13,67	0,80
	30-50	3,89	0,11	0,24	0,36	3,81	13,67	0,74
	50-100	3,85	0,13	0,23	0,71	3,86	13,73	2,22
FL	0-10	4,36	0,50	4,80	4,91	0,32	4,67	2,00
	10-20	4,43	0,27	1,63	2,81	1,09	7,37	0,53
	20-30	4,12	0,13	0,55	1,85	2,52	10,02	0,15
	30-50	4,08	0,09	0,50	1,53	3,00	11,07	0,85
	50-100	4,11	0,08	0,31	0,90	2,90	10,81	0,93
AG	0-10	4,92	0,09	4,32	3,51	0,51	6,33	1,51
	10-20	4,57	0,06	2,46	2,84	0,67	6,59	0,59
	20-30	3,96	0,03	0,54	1,20	3,22	11,87	0,41
	30-50	3,93	0,03	0,36	0,80	3,49	12,68	0,04
	50-100	4,03	0,07	0,39	0,73	3,22	11,43	0,62
EH	0-10	4,69	0,24	3,41	2,41	0,40	6,03	3,50
	10-20	4,63	0,06	2,37	2,86	0,44	5,72	1,52
	20-30	4,24	0,06	1,67	1,99	1,68	8,12	0,85
	30-50	4,01	0,05	0,55	1,47	2,91	10,94	0,92
	50-100	4,06	0,03	0,48	0,78	2,62	9,57	0,52

Onde ENA=erval nativo, AG=erval com histórico de consorcio agrícola, FL=erval arborizado e EH=Eral homogêneo.

TABELA 1.2 - PROPRIEDADES GRANULOMÉTRICAS DO SOLO POR CAMADA E POR SISTEMA DE EXPLORAÇÃO

Sistema	Profundidade	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
	cm	g Kg ⁻¹			
ENA	0-10	70	36	315	580
	10-20	56	31	307	610
	20-30	55	29	266	650
	30-50	51	25	244	680
	50-100	63	26	212	700
FL	0-10	87	33	360	520
	10-20	77	32	301	590
	20-30	64	32	305	600
	30-50	65	29	267	640
	50-100	48	26	206	720
AG	0-10	93	42	265	600
	10-20	104	36	241	620
	20-30	91	40	210	660
	30-50	89	32	219	660
	50-100	71	63	267	600
EH	0-10	74	38	289	600
	10-20	80	37	244	640
	20-30	66	28	207	700
	30-50	45	25	231	700
	50-100	44	28	209	720

2.5.2 ATRIBUTOS FÍSICOS

Os indicadores da qualidade física do solo mais utilizados são porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo, resistência a penetração, permeabilidade do solo, profundidade efetiva e estabilidade de agregados (Singer e Ewing, 2000; Silva et al., 2005). Através desses atributos o impacto do uso e manejo do solo tem sido avaliado por diversos pesquisadores (Silveira, 2003; Beutler et al., 2001).

Neste estudo, em termos gerais, as propriedades físicas do solo avaliadas variaram significativamente nas camadas superficiais. As diferenças entre os sistemas de produção de erva-mate tornaram-se imperceptíveis (diferenças não significativas) na última camada avaliada (50-100 cm).

2.5.2.1 DENSIDADE

O sistema que apresenta as menores densidades tanto em superfície quanto em profundidade é o sistema arborizado com espécies nativas. Isto pode se explicar pela presença de material vegetal incorporado em diversas profundidades o qual cria maiores espaços porosos e diminui a densidade pela descompactação provocado pelo sistema radicular.

Queiroz-Voltan et al. (1998) observaram baixos valores de densidade do solo (0,94 a 1,02 Mg m⁻³) em vegetação de mata nativa em solo de textura argilosa. Em nosso estudo, os valores de densidade do erval nativo superaram em média as do sistema arborizado e os do erval com histórico de consórcio com culturas agrícolas nas entrelinhas. Esta situação se deve provavelmente ao ingresso mais freqüente de gado no erval nativo, o qual pode ter provocado uma maior compactação superficial neste sistema.

De acordo com USDA (1998) considera-se impeditivo ao desenvolvimento de raiz valores de densidade maiores de 1,47 Mg m⁻³ para solos de textura argilosa.

Camargo & Alleoni (1997) propuseram que o valor crítico relativo à densidade do solo, de um Latossolo Vermelho, deve ser de 1,1 Mg m⁻³. Maria et al. (1999) indicam 1,2 Mg m⁻³ para Latossolo Roxo, afirmando que a partir desta densidade

ocorre restrição ao desenvolvimento radicular quando o solo se encontra em capacidade de campo, caracterizando compactação do solo.

Para Goedert et al. (2002), valores entre 0,7 e 1,0 Mg m⁻³ podem ser considerados normais em Latossolo Vermelho, propondo que 0,9 Mg m⁻³ seja o máximo permitido quando se deseja sustentabilidade no uso de latossolos. Tais relatos evidenciam que o nível crítico para densidade do solo varia de acordo com o solo e que não existe consenso sobre um valor específico.

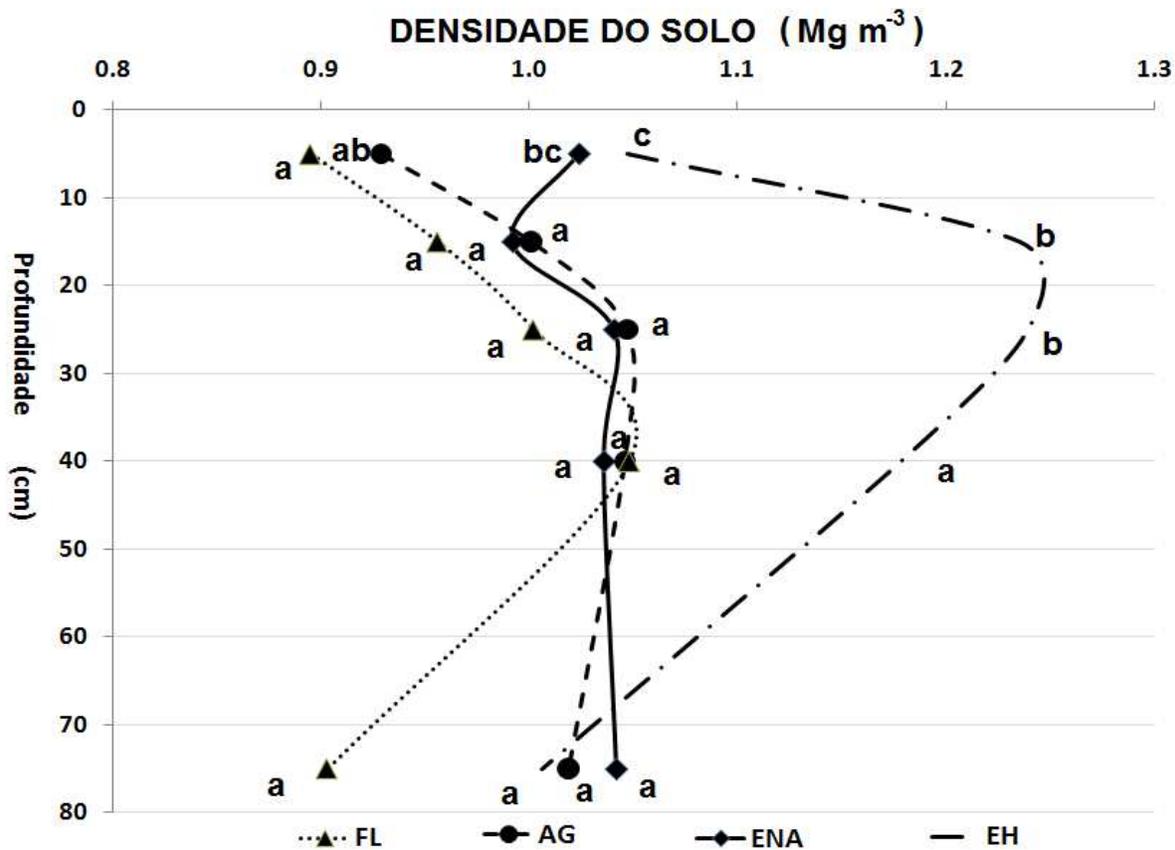
Os sistemas de produção apresentaram em geral valores dentro dos considerados adequados para o desenvolvimento radicular. Porém nas camadas de 10-20 e 20-30 do erval homogêneo (EH) as densidades observadas estiveram acima da média permisível.

Neste sentido, pode-se afirmar que os sistemas de produção que consorciaram outras espécies não apresentam problema de compactação, pois estão muito próximos e inclusive menores do valor de densidade do solo sob mata nativa.

TABELA 1.3.- DENSIDADE DO SOLO (Mg m⁻³) NAS LINHAS E ENTRELINHAS DOS SISTEMAS CULTIVADOS

SISTEMA	POSIÇÃO	Profundidade (cm)				
		0-10	10-20	20-30	30-50	50-100
<i>Densidade (Mg m⁻³)</i>						
AG	LINHA	0,844 a	0,997 a	1,034 a	0,999 a	0,983 a
	ENTRELINHA	1,014 a	1,004 a	1,059 a	1,092 a	1,055 a
FL	LINHA	0,871 a	0,877 a	0,928 a	0,960 a	1,047 a
	ENTRELINHA	0,919 a	1,036 a	1,075 a	1,136 a	0,759 a
EH	LINHA	1,075 a	1,218 a	1,212 a	1,155 a	1,016 a
	ENTRELINHA	1,020 a	1,252 a	1,258 a	1,202 a	0,997 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade dentro do mesmo sistema e para a mesma profundidade.



Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para a mesma profundidade

FIGURA 1.1. DENSIDADE DO SOLO NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM ERVA-MATE

2.5.2.2 POROSIDADE TOTAL

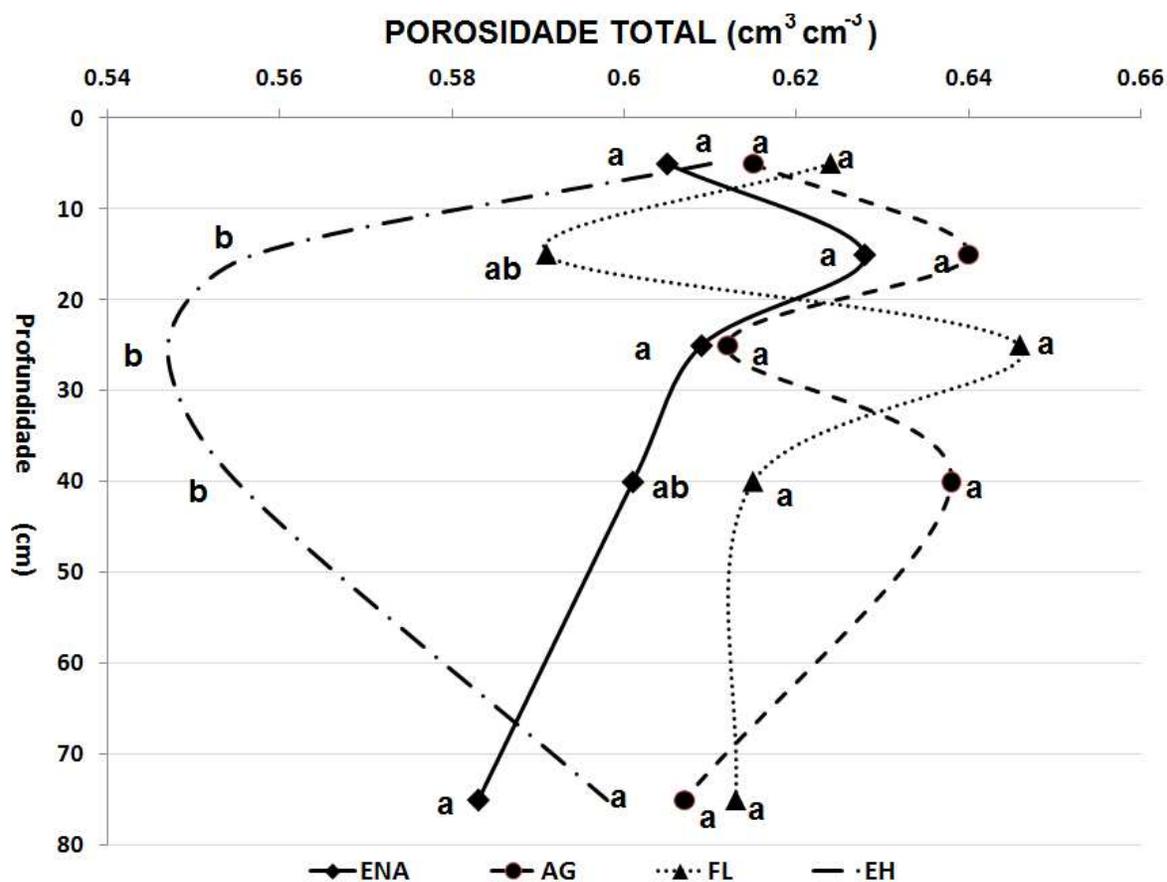
A porosidade e a densidade são propriedades físicas que manifestam o efeito das práticas de manejo na qualidade do solo. Estes atributos influem diretamente nas funções do solo como trocas gasosas, desenvolvimento radicular e dinâmica da água no perfil do solo. Aumentos na densidade provocam diminuição da porosidade total interferindo na condutividade e na infiltração da água no solo, causando restrição à sua movimentação no perfil. Isso resulta em escoamento superficial, perdas de solo e nutrientes por erosão (Evanylo *et al.*, 2000).

No presente estudo não se encontraram diferenças significativas na porosidade total da camada mais superficial (0-10). Porém, quando avaliado o perfil em conjunto o erval arborizado com espécies nativas e o erval com histórico de consorcio de culturas agrícolas (AG) apresentaram as maiores porosidades totais, sendo este resultado coerente com as menores densidades dos mesmos devido ao histórico de revolvimento de solo para implantação das lavouras.

TABELA 1.4 - POROSIDADE TOTAL ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) NAS LINHAS E ENTRELINHAS DOS SISTEMAS CULTIVADOS

SISTEMA	POSIÇÃO	Profundidade (cm)				
		0-10	10-20	20-30	30-50	50-100
<i>Porosidade Total ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)</i>						
AG	LINHA	0,674 a	0,617 a	0,606 a	0,646 a	0,613 a
	ENTRELINHA	0,556 a	0,663 a	0,617 a	0,629 a	0,600 a
FL	LINHA	0,683 a	0,606 a	0,624 a	0,627 a	0,599 a
	ENTRELINHA	0,670 a	0,579 a	0,594 a	0,587 a	0,609 a
EH	LINHA	0,608 a	0,560 a	0,541 a	0,547 a	0,586 a
	ENTRELINHA	0,613 a	0,555 a	0,553 a	0,563 a	0,610 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade dentro do mesmo sistema e para a mesma profundidade.



Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para a mesma profundidade

FIGURA 1.2. POROSIDADE TOTAL DO SOLO NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM ERVA-MATE

2.5.2.3 MACROPOROSIDADE

A macroporosidade do solo é responsável pela circulação rápida da água, onde tanto a água da chuva quanto a de irrigação estão sujeitas às forças gravitacionais. Os macroporos ficam vazios após a drenagem possibilitando as trocas gasosas e penetração de raízes (Silva, 2007).

Para Tormena et al. (2002) é necessário manter o solo com macroporosidade acima de 10%, pois valores inferiores conferem inadequada difusão de oxigênio para atender a demanda respiratória das raízes e o adequado crescimento e atividade de microorganismos. Desta forma, os sistemas de produção de erva-mate avaliados apresentaram macroporosidade bem acima da faixa mínima aceitável e recomendável para o bom desenvolvimento das plantas.

Os valores de macroporosidade apresentaram uma tendência de diminuição em profundidade (até a camada de 20-30 cm) isto devido a que a densidade dentro de um perfil tende a aumentar com a profundidade e como conseqüência diminui os espaços porosos.

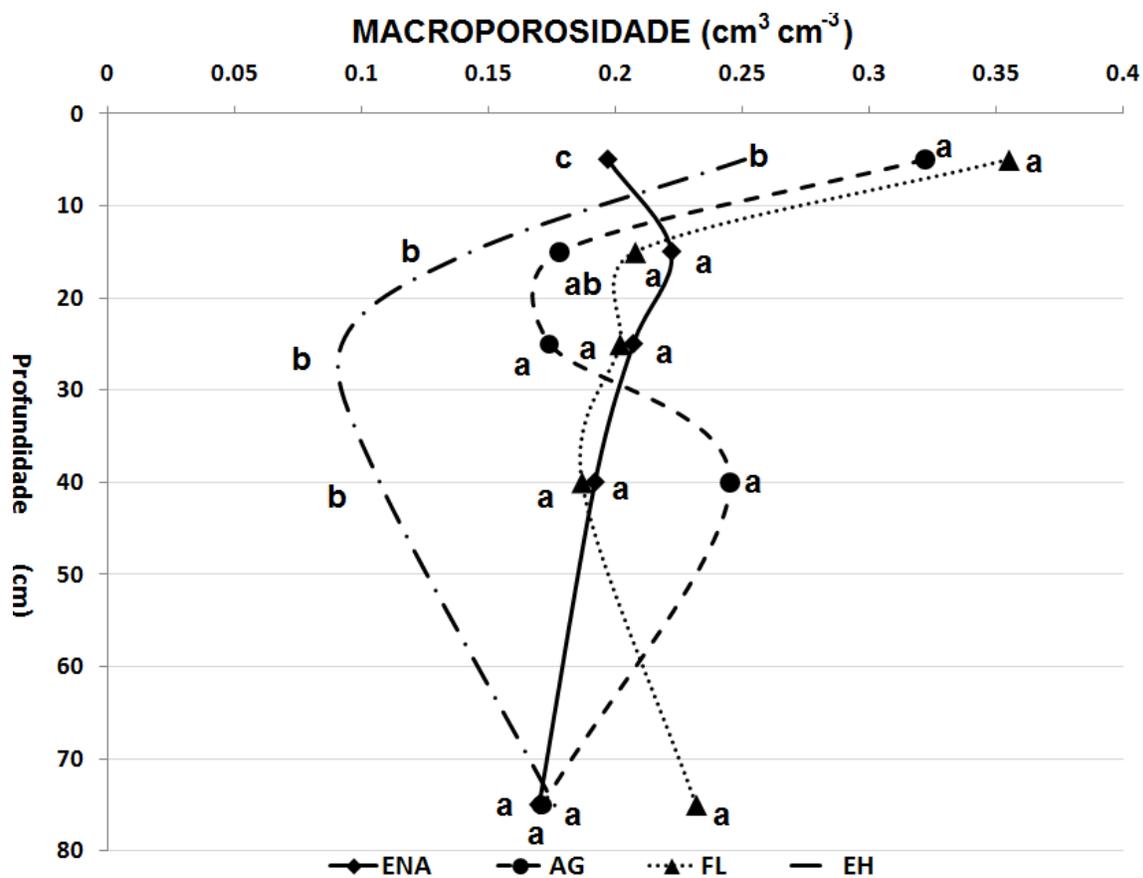
Segundo Hariah et al. (2006) os sistemas agroflorestais por proporcionarem um aumento na espessura na camada da liteira favorecem a presença de minhocas as quais promovem a construção de galerias proporcionando dessa forma um incremento na macroporosidade e redução da densidade do solo. Assim, em ambos os sistemas agroflorestais com erva-mate (AG e FL) os valores médios da macroporosidade foram superiores ao plantio a pleno sol.

É interessante destacar também a maior macroporosidade na camada de 0-10 cm nos sistemas que tem consorcio ou tiveram alguma movimentação do solo por aração (AG), este efeito, porém, desaparece em profundidade. No erval nativo, no qual não houve intervenção, a macroporosidade difere muito pouco em profundidade.

TABELA 1.5 - MACROPOROSIDADE ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) NAS LINHAS E ENTRELINHAS DOS SISTEMAS CULTIVADOS

SISTEMA	POSIÇÃO	Profundidade (cm)				
		0-10	10-20	20-30	30-50	50-100
$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$						
AG	LINHA	0,349 a	0,179 a	0,183 a	0,271 a	0,216 a
	ENTRELINHA	0,295 a	0,169 a	0,174 a	0,218 a	0,125 a
FL	LINHA	0,377 a	0,255 a	0,246 a	0,240 a	0,180 a
	ENTRELINHA	0,333 a	0,161 a	0,158 a	0,134 a	0,284 a
EH	LINHA	0,245 a	0,153 a	0,101 a	0,118 a	0,432 a
	ENTRELINHA	0,257 a	0,133 a	0,0841 a	0,096 a	0,412 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade dentro do mesmo sistema e para a mesma profundidade.



Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para a mesma profundidade

FIGURA 1.3. MACROPOROSIDADE DO SOLO NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM ERVA-MATE

2.5.2.4 MICROPOROSIDADE

Segundo Silva e Kay (1997) a microporosidade é pouco influenciada pelo aumento da densidade do solo sendo fortemente influenciada pelo teor de carbono do solo e pela textura. A microporosidade é responsável pela circulação mais lenta da água através da capilaridade. Enquanto a macroporosidade é principalmente de origem estrutural, a microporosidade pode ter origem de alterações texturais e estruturais de solo, e é nela também que se encontra a água disponível para as plantas (Silva, 2007).

Para Carvalho et al. (2004) e Tormena et al. (2004) a redução da porosidade total está associada à redução da macroporosidade e conseqüente incremento da microporosidade. A transformação de macroporos em microporos é frequentemente observada com o incremento de atividades com o solo.

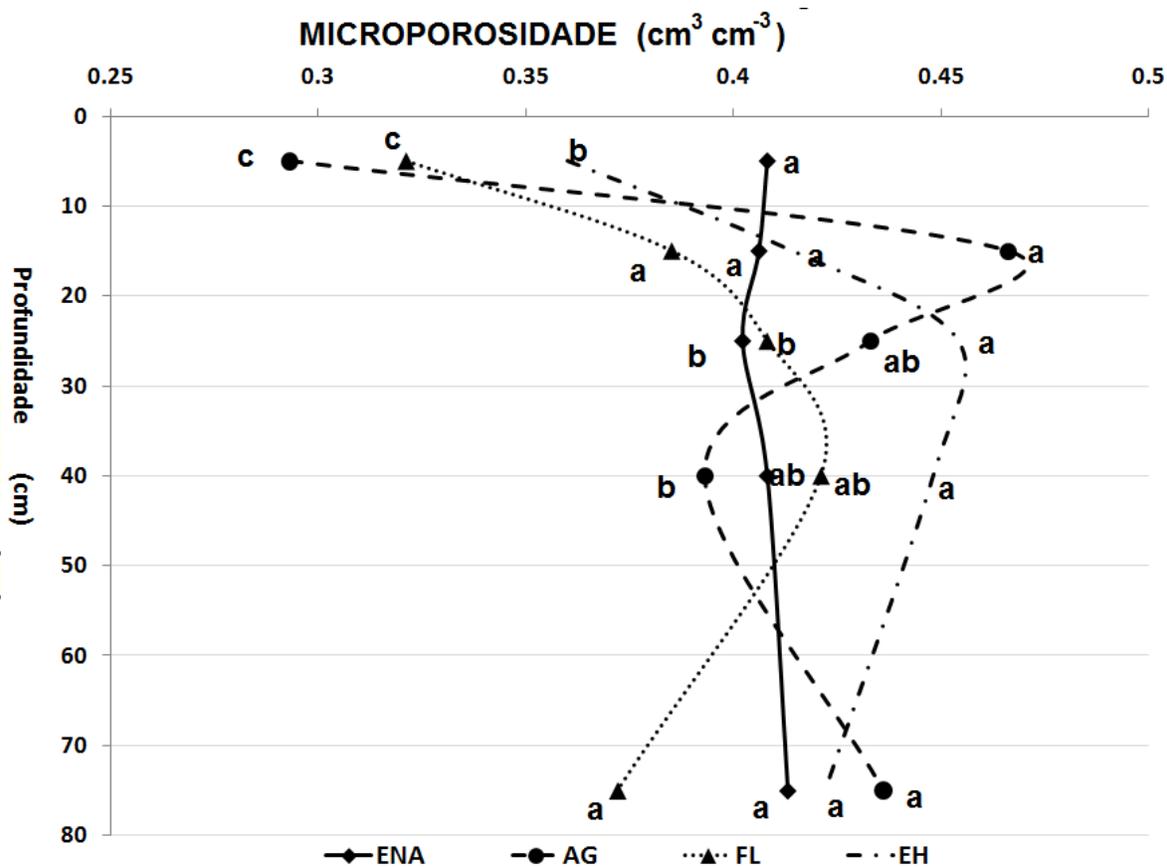
O erval nativo seguido do plantio homogêneo de erva-mate apresentaram os maiores valores de microporosidade e como já foi mencionado houve neste sistema uma redução da porosidade total. De Aguiar (2008) avaliando sistemas de produção de café, encontrou também que os maiores valores de microporosidades se deram no plantio solteiro e a pleno sol.

O mesmo autor sugere que os efeitos decorrentes disto, embora possa aumentar a água retida nos microporos, freqüentemente reduz drasticamente a percolação de água no perfil, afetando sobremaneira a disponibilidade de água no solo e a alimentação dos lençóis freáticos (De Aguiar, 2008).

TABELA 1.6 - MICROPOROSIDADE ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) NAS LINHAS E ENTRELINHAS DOS SISTEMAS CULTIVADOS

SISTEMA	POSIÇÃO	Profundidade (cm)				
		0-10	10-20	20-30	30-50	50-100
		$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$				
AG	LINHA	0,325 a	0,438 a	0,423 a	0,375 a	0,397 a
	ENTRELINHA	0,261 a	0,494 a	0,443 a	0,411 a	0,475 a
FL	LINHA	0,307 a	0,351 a	0,378 a	0,387 a	0,419 a
	ENTRELINHA	0,336 a	0,418 a	0,437 a	0,454 a	0,325 a
EH	LINHA	0,363 a	0,407 a	0,441 a	0,428 a	0,586 a
	ENTRELINHA	0,356 a	0,421 a	0,436 a	0,468 a	0,563 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade dentro do mesmo sistema e para a mesma profundidade.



Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para a mesma profundidade

FIGURA 1.4. MICROPOROSIDADE DO SOLO NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM ERVA-MATE

2.5.2.5 POROSIDADE DE AERAÇÃO

Erickson (1982) afirma que a porosidade de aeração mínima necessária para o desenvolvimento normal da maioria das culturas é em torno de $0,1\text{m}^3\text{ m}^{-3}$. Grable e Siemer (1968) também sugerem a porosidade de aeração de 10% como crítica para o crescimento radicular, em função da limitada difusão de oxigênio no solo. A porosidade de aeração de 10% tem sido adotada como crítica para o crescimento radicular das plantas, apesar da variação deste valor entre diferentes espécies de plantas. Um baixo valor de porosidade de aeração é um indicativo da baixa difusividade de oxigênio no solo para as raízes das plantas, estando diretamente relacionado à redução dos macroporos.

Para o presente estudo as porosidades de aeração ao longo dos perfis dos diferentes sistemas de produção de erva-mate apresentaram valores acima do limite crítico para o bom desenvolvimento radicular. Os sistemas cultivados apresentaram em média valores superiores ao erval nativo, isto devido ao histórico de revolvimento do solo nos sistemas cultivados e ao ingresso de gado no erval nativo que produziu uma relativa compactação superficial.

TABELA 1.7 – POROSIDADE DE AERAÇÃO ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) NAS LINHAS E ENTRELINHAS DOS SISTEMAS CULTIVADOS

SISTEMA	POSIÇÃO	Profundidade (cm)				
		0-10	10-20	20-30	30-50	50-100
		$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$				
AG	LINHA	0,365 a	0,185a	0,192 a	0,281 a	0,224 a
	ENTRELINHA	0,303 a	0,173a	0,181 a	0,223 a	0,132 a
FL	LINHA	0,384 a	0,262 a	0,252 a	0,243 a	0,291 a
	ENTRELINHA	0,339 a	0,166 a	0,163 a	0,139 a	0,183 a
EH	LINHA	0,243 a	0,155 a	0,104 a	0,121 a	0,164 a
	ENTRELINHA	0,260 a	0,136 a	0,086 a	0,103 a	0,200 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade dentro do mesmo sistema e para a mesma profundidade.

TABELA 1.8 – POROSIDADE DE AERAÇÃO ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM ERVA-MATE

SISTEMA	Profundidade (cm)				
	0-10 ***	10-20 *	20-30 ***	30-50 *	50-100 n.s
Porosidade de Aeração ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)					
ENA	0.209 c	0.232 a	0.217 a	0.202 a	0.179 a
FL	0.362 a	0.214 a	0.207 a	0.191 ab	0.236 a
AG	0.334 a	0.179 ab	0.187 a	0.252 a	0.178 a
EH	0.254 b	0.145 b	0.095 b	0.111 b	0.182 a

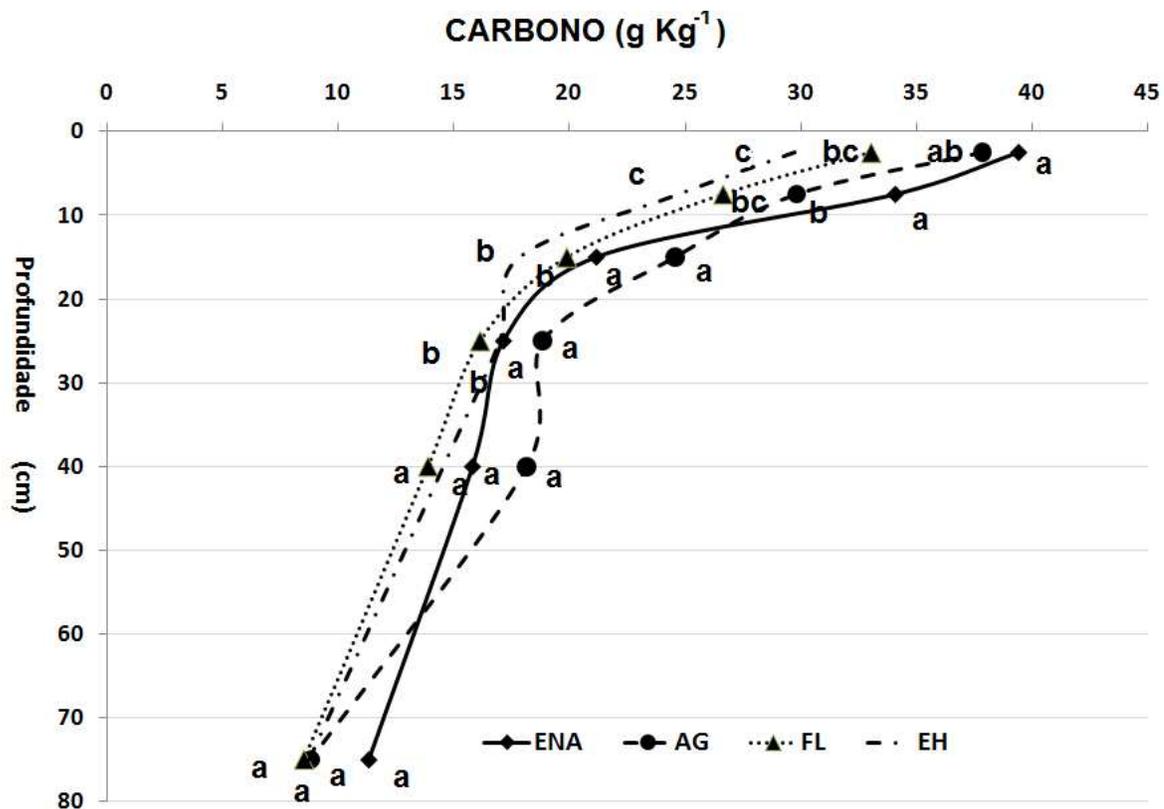
Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey de probabilidade dentro do mesmo sistema e para a mesma profundidade

2.5.3 TEOR DE CARBONO

Os maiores teores foram observados nos primeiros 5 cm em função do teor elevado de matéria orgânica nesta profundidade, proveniente principalmente da decomposição da serapilheira. Pode-se observar na Figura 1.6 que os teores de carbono orgânico diminuem na medida em que aumenta a profundidade do solo, pois esse fato é atribuído a redução dos teores de matéria orgânica com a profundidade. Assim também a diferenciação dos sistemas em função dos teores de carbono se dá até a profundidade de 50 cm.

Segundo Larson e Pierce (1994) a adição de matéria orgânica proporciona a agregação e a diminuição de densidade do solo estabelecendo condições ideais que garantem o desempenho normal de suas funções básicas.

A pesar dos teores de carbono encontrados no sistema arborizado (FL) serem numericamente menores em todas as camadas, os atributos físicos de densidade e porosidade foram melhores quando contrastados com os outros sistemas produção. Isto poderia se explicar pelo predomínio da ação mecânica das raízes dos diferentes espécies arbóreas e provavelmente pelo pouco tempo de uso dos sistemas. Além disso, deve se considerar que os teores de carbono em solos de caráter alumino-férrico apresentam menores variações com a mudança no uso e manejo do solo. Solos com teores elevados de óxidos de ferro e de alumínio, minerais que apresentam grupos -OH, altamente reativos com matéria orgânica, apresentam complexos organo-minerais de alta estabilidade (Dick e Schwertmann, 1996).



Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para a mesma profundidade

FIGURA 1.5. TEOR DE CARBONO DO SOLO NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM ERVA-MATE

2.5.4 ESTOQUE DE CARBONO

Na FIGURA 1.6 apresentam-se os estoques totais de carbono por sistema avaliado para as profundidades de 0-30 cm e 0-100. Numericamente o erval nativo remanescente estoca maior quantidade de carbono seguido do erval homogêneo com histórico de consorcio com culturas agrícolas.

Estatisticamente os teores de carbono dos quatro sistemas foram iguais. Os valores máximos provindos da mata nativa remanescente são devidos a que em solos sob vegetação natural, o balanço entre as adições e perdas de carbono leva a um estado de equilíbrio dinâmico, no qual praticamente não existe variação no teor de carbono orgânico com o tempo.

Por outro lado, se deve considerar que o histórico de entrada do gado e exploração de madeira na área explica os valores inferiores aos esperados. Já no sistema de produção de erva mate consorciado com culturas agrícolas por terem sido usadas nas entrelinhas plantas de ciclo curto existiu uma incorporação dos resíduos da colheita o que contribuiu com os altos teores totais de carbono observados.

Na remoção da vegetação natural para estabelecimento de outros sistemas como o do plantio homogêneo verifica-se, uma perda de carbono do solo, em decorrência da combinação entre calor e umidade, que facilita a decomposição.

O sistema que corresponde à área de produção de erva mate arborizada com outras espécies nativas apresentou os valores menores de carbono estocado no solo, isso pode decorrer dos baixos aportes de resíduos no solo das espécies florestais as quais por terem apenas 7 anos de idade e serem de lento crescimento ainda não reciclam grandes quantidades de nutrientes, acrescentando-se o fato das menores densidades e portanto das menores massas das camadas superficiais.

Neves et al. (2004) avaliando o estoque de carbono num latossolo Vermelho distroférico em sistemas agrossilvopastoril, pastagem cultivada e reflorestamento de eucalipto, no noroeste do Estado de Minas Gerais observaram uma tendência de aumento do estoque do carbono nos sistemas agrossilvopastoril com o passar dos anos, assim como perdas pequenas de carbono quando comparado com o campo nativo. Este resultado foi atribuído, como no presente estudo, aos altos teores de

argila. Freitas et al. (2000) ressaltam o papel da argila na estruturação do solo e em proteger a matéria orgânica do solo contra a decomposição.

Caldeira et al.(2003), por outro lado, avaliando povoamentos homogêneos de *Acacia mearnsii* de 6 anos de idade plantados no Rio Grande do Sul num Argissolo Vermelho Escuro encontraram estoques de carbono no solo a 1m de profundidade de 101,5 Mg.ha⁻¹. Os estoques de carbono para os sistemas de produção de erva-mate, ainda incluindo o erval homogêneo, foram superiores ao encontrado por Caldeira et al. (2003) provavelmente devido aos maiores teores de argila apresentado pelo solo sob erva-mate e ao caráter alumino-ferrico que proporcionam uma maior proteção da matéria orgânica.

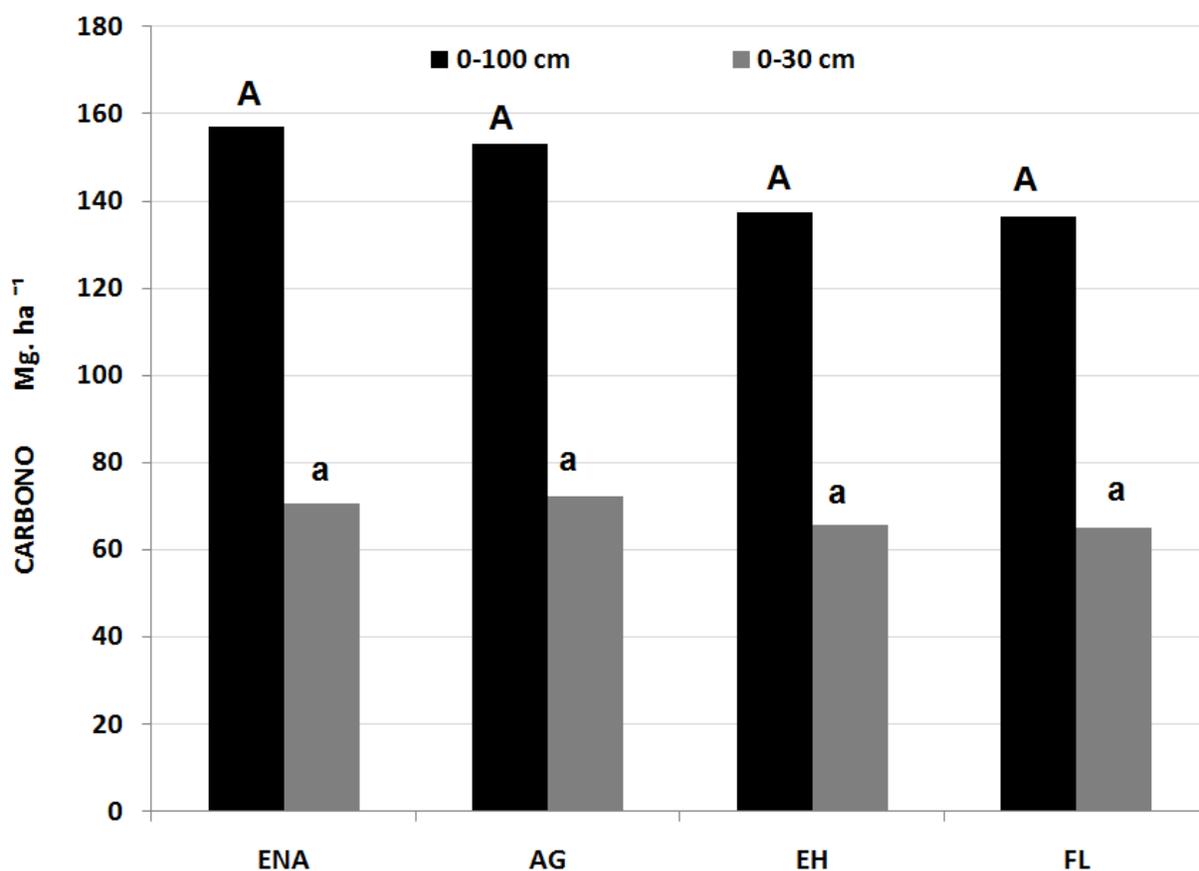


FIGURA 1.6 - ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO A 0,30 E 1 m DE PROFUNDIDADE EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ERVA-MATE.

2.6 CONCLUSÕES

- O plantio homogêneo com erva-mate apresentou em média a menor porosidade total e as maiores densidades, enquanto o sistema agroflorestal com árvores nativas e erva apresentou as menores densidades e maior porosidade, refletindo as melhoras em termos de qualidade física do sistema de produção.
- O estoque de carbono total não apresentou diferenças significativas nos sistemas avaliados, porém numericamente o erval nativo e o erval consorciado com culturas agrícolas estocaram as maiores quantidades de carbono.
- Os sistemas de produção de erva-mate apresentaram atributos físicos e estoques de carbono similares devido ao pouco tempo de implantação dos mesmos.

2.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEGRE, J. ; MONTOYA, L.; CORREIA, G. Geração de curva alométrica para avaliar reservas de carbono em plantios de erva-mate, no sul do brasil, Colombo: Embrapa Florestas 19 p, Boletim de pesquisa e desenvolvimento 33, 2007.

ALBRECHT, A.; KANDJI, S. Carbon sequestration in tropical agroforestry Systems, **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Elsevier Science B.V. Amsterdam, 99, p.15-27, 2003.

BAYER, C.; MIELNICZUK. J. Acúmulo de resíduos culturais na superfície do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por métodos de preparo e sistemas de cultura. Revista Pesquisa Agropecuária Gaúcha, v. 5, p.331-339, 1999.

BEULTER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. ; CRUZ, J.C. ; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.167-177, 2001.

CALDEIRA, M.V.W.; SCHUMACHER, M.J.; BARICHELLO, L.R.; VOGEL, H.L.M. Determinação de Carbono Orgânico em Povoamentos de *Acacia mearnsii* de Wild. Plantados No Rio Grande do Sul. **Ciências Agrárias e Ambientais**, v.1, n.2, p. 47-54, 2003.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Esalq, 132 p, 1997

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

DE AGUIAR, M.I. Qualidade Física do solo em sistemas agroflorestais. 78 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, MG, 2008.

DICK, D.P; SCHWERTMANN, U. Microaggregates from oxisols and inceptisols: dispersion through selective dissolutions and physicochemical treatments. *Geoderma*, Amsterdam, v.74, p.49-63, 1996.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997.

EVANYLO, G. **Agricultural management practices and soil quality: measuring, assessing and comparing laboratory and field test kit indicators of soil quality attributes**. Virginia: Virginia State University. (Cooperative Extension. N. 452- 400). p. 1-12 , 2000.

FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROUY, M.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 107-11, 1995.

GOEDERT, W.; SCHERMACK, M. J E FREITAS, F.C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no Sistema de plantio direto. **Pesq. Agropec. Bras.** , v. **37**, p. 223-227, 2002.

LARSON, W.E.; PIRCE. F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORANL J.W. et a. (Eds). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: ASA/SSSA, p. 37-51. 1994.

HAIRIAH, K.; SULISTYANI, H.; SUPRAYOGO, D.; WIDIANTO; PURNOMOSIDHI. P.; WIDODO, R. H.; NOORDWIJK, M.V. Litter layer residence time

in Forest and coffee agroforestry systems in Sumberjaya, West Lampung. **Forest Ecology and Management**, v.224, p.45-57, 2006.

SISTI, C. P.J.; SANTOS, H. P.; KOHHAN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, p. 39-58, 2004.

MARIA, I. C. de; CASTRO, O. M.; DIAS, H. S. 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**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 703-709, 1999.

MONIZ, A. C. **Elementos de pedologia**. São Paulo: Polígono, 1972. 459 p.

MONTOYA, L. J. V. Caracterización y evaluación económica del sistema agroforestal yerba mate en el sur de Brasil: un enfoque financiero, de optimización y de riesgo. Tesis de doctorado. **Colegio de postgraduados, Montecillo, EDO. Mexico**. 115p. 1999.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; PRADO, H.; MORETTI, F.C.; Aspectos estruturais de raízes de cana-de-açúcar sob efeito da compactação do solo. **Bragantia** v. 57, n. 1, Campinas, 1998.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S.; GONÇALVES, A.C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, v.59, n.4, p.795-801, 2002.

OLIVEIRA, L. B. Determinação da macro e microporosidade pela "mesa de tensão" em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa Agropecuária**

Brasileira, Brasília, v. 3, p. 197-200, 1968.

REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; CABEDA, M.S.V. Selamento superficial e infiltração de água em solo do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.16, p.289-298, 1992.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Piracicaba: Manole, 188p, 1987.

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

SILVA, R.R.; SILVA, M.L.N.; FERREIRA, M.M. Atributos físicos indicadores de qualidade do solo sob sistemas de manejo da bacia do alto do rio grande – MG. **Revista Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.29, p.719-730, 2005.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Sistemas de preparo do solo e rotação de culturas na produtividade de milho, soja e trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.240-244, 2003.

SINGER, M.; EWING, S. Soil quality. In: SUMNER, M.E. **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, p. 271-298, 2000.

SCHIRMER, J. **Cultivo e Manejo da erva-mate**. Manual do treinando. Porto Alegre, p.7-9. 2001.

TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S.; IDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.1028-1031, 2004.

United State Department of Agriculture. *Soil quality test kit* . **Agricultural Research Service: Agricultural Research Service**: Washington, DC, E.U.A., Washington, DC, USA, p. 82- 82, 1998

YOUNG, A. The effectiveness of contour hedgerows for soil and water conservation. *Agroforestry Forum*, v.8, p.2-4,1997.

III **CAPITULO 2 - “INDICADORES FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DA QUALIDADE DE UM LATOSSOLO VERMELHO ALUMINOFERRICO SOB CULTIVO DE ERVA-MATE (*ILEX PARAGUARIENSIS* ST. HIL)”**

3.1 RESUMO

A capacidade produtiva do recurso solo pode ver-se alterada pelo sistema de uso e manejo do solo. Este fato leva à necessidade de utilização de mecanismos para avaliar o impacto gerado por uma determinada pratica. Existem muitos atributos que devido a sua sensibilidade podem ser usados como indicadores de qualidade.

Segundo Santana e Bahia Filho (1998), a avaliação da qualidade do solo pode ser realizada pelo monitoramento de seus atributos ou características físicas, químicas e biológicas. Porém, ainda não existem indicadores definitivos para avaliar a qualidade do solo, pois cada um dos atributos usados apresenta restrições em quanto à sua aplicação. Este trabalho analisou diversos parâmetros para avaliar a qualidade de um Latossolo Vermelho Aluminoferrico muito argiloso submetido a diferentes sistemas de produção de erva-mate. O impacto dos sistemas sobre a qualidade do solo foi medido pelas seguintes variáveis: atributos físicos (macro agregados, micro agregados, estabilidade de agregados e o fracionamento densimétrico da materia orgânica), atributos químicos (teor de carbono orgânico total, o carbono extraído com água quente, e carbono resistente à hidrólise) e atributos biológicos (carbono associado à biomassa microbiana do solo, a respiração basal do solo e o quociente metabólico) considerando-se as profundidades de 0-5 e 5-10 cm. Estas variáveis foram testadas separadamente para identificar diferenças entre os sistemas através do análise de variância e teste de Tukey. Ademais correlacionaram-se as variáveis mediante o coeficiente Pearson. Finalmente usou-se o Análise de Componentes principais para identificar proximidade dos sistemas através da interação de todos os índices avaliados. Os sistemas de produção de erva-mate avaliados foram um erval homogêneo (EH), um erval consorciado com culturas agrícolas (AG), um erval arborizado com espécies nativas (FL), e um erval nativo remanescente de uma floresta ombrofila mista (ENA). Foram encontradas correlações muito baixas entre o carbono orgânico total e a estabilidade de agregados, enquanto as variáveis que mais se relacionaram foram a biomassa microbiana e o carbono extraído com água quente (HWC). Quase todos os parâmetros apresentaram bom potencial para avaliar a qualidade do solo, a exceção da hidrólise ácida que não conseguiu distinguir diferenças entre os sistemas cultivados. Os resultados obtidos permitem recomendar o sistema agroflorestal com árvores nativas para a manutenção da qualidade do solo devido aos maiores valores nos índices. O qual reflete as melhores condições para o funcionamento do solo em função da pouca movimentação do solo.

Palavras- chave: IEA, biomassa microbiana, Hot Water Extractable Carbon, carbono lábil, fração leve livre, fração leve oclusa, carbono recalcitrante.

3.2 ABSTRACT

The productive capacity of soil can be altered by its use and management. This situation has created the need to use mechanisms to assess the impact produced by a particular practice. There are many attributes that due to their sensitivity can be used as indicators of quality. According to Santana Bahia and Filho (1998), the assessment of soil quality can be achieved by monitoring the physical, chemical and biological attributes. However, there are no definitive indicators to assess soil quality, because every attribute presents some limitations on its application. This study analyzes several parameters to evaluate the quality of an Oxisol under different production systems of yerba mate. The impact of the systems on soil quality was measured by the following variables: physical attributes (macroaggregates, microaggregates, aggregate stability and density fractionation of organic matter), chemical attributes (total organic carbon, carbon extracted with hot water, and carbon resistant to hydrolysis) and biological attributes (carbon of soil microbial biomass, soil basal respiration and metabolic quotient) considering the depths of 0-5 and 5-10 cm. These variables were tested separately to identify differences between the systems through the analysis of variance and Tukey test. The measured variables were also correlated by Pearson coefficient. Finally, multivariate analysis was used to identify proximity of the systems through the interaction of all the indexes. Yerba mate production systems assessed were a homogenous herbal plantation (EH), an herbal intercropped with agricultural crops in the first 4 years (AG), an herbal intercropped with native tree species (FL), and a native herbal left of an Araucarian Forest (ENA). It was found very low correlations between the total organic carbon and aggregate stability, while the variables that were most closely related with this last parameter were the microbial biomass carbon and the C extracted with hot water (HWC). Almost all parameters showed good potential for assessing the quality of soil, except for C of acid hydrolysis that could not distinguish differences between the agricultural systems. Based on the highest values obtained for the majority of the parameters, the authors recommend the use of the Agroforestry system with native trees as a yerba mate production system in order to maintain the quality of the soil resource. This high values reflect the best conditions given by this system to enhance the correct functioning of soil which is consequence of the reduced movement of soil.

Key-words: Stability Aggregation index, microbial biomass, Hot Water Extractable Carbon, labil carbon, Free light fraction, Occluded light fraction, recalcitrant carbon.

3.3 INTRODUÇÃO

No mundo inteiro são bem conhecidos os benefícios ao meio ambiente obtidos com o uso dos sistemas agroflorestais (SAFS). Estes sistemas proporcionam maior cobertura do solo, favorecem a preservação da fauna e da flora, promovem a ciclagem de nutrientes a partir da ação de sistemas radiculares diversos e propiciam um contínuo aporte de matéria orgânica (Bresman e Kessler, 1997, Araujo *et al.*, 2001; Sanchez, 2001; Schroth *et al.*, 2002). Além disso, os SAFS possibilitam maior diversidade de produtos a serem explorados em uma mesma área evitando desta forma os problemas de sazonalidade, (Izac e Sánchez, 2001).

No sul do Brasil a erva-mate é componente principal de vários sistemas agroflorestais. Existem vários estudos sobre produtividade, nutrição, e fertilidade de erva-mate. Porém literatura sobre qualidade do solo em estes sistemas é ainda escassa.

A qualidade do solo refere-se às condições ótimas para que o solo funcione adequadamente. De acordo a Doran e Parkin (1994) e Karlen *et al.* (1997) a qualidade do solo é a capacidade de um determinado tipo de solo para desempenhar funções relacionadas à sustentação da atividade, da produtividade e da diversidade biológica, à manutenção da qualidade do ambiente, à promoção da saúde das plantas e dos animais e à sustentação de estruturas sócio-econômicas e de habitação humana. Os mesmos autores afirmam também que a qualidade do solo pode ser avaliada considerando a sua capacidade em suprir nutrientes para as plantas, para suportar o crescimento e desenvolvimento de raízes, para proporcionar uma adequada atividade biológica e estabilidade estrutural, para resistir a erosão e para reter água para as plantas, entre outros.

Nesse sentido é fundamental identificar atributos indicadores de qualidade que apresentem facilidade de avaliação, aplicabilidade em diferentes escalas, capacidade de integração, adequação ao nível de análise da pesquisa, utilização no maior número possível de situações, sensibilidade às variações de manejo e clima e possibilidade de medições por métodos quantitativos e/ou qualitativos (Doran *et al.*, 1996).

Algumas propriedades do solo podem ser consideradas como atributos indicadores e, portanto, são de grande importância na avaliação da sua qualidade. Podem ser distinguidos três grupos de indicadores da qualidade de um solo: os efêmeros, cujas alterações ocorrem em curto tempo ou são modificados pelas práticas de cultivo, tais como umidade do solo, densidade, pH, disponibilidade de nutrientes; os permanentes, que são inerentes ao solo, tais como profundidade, textura, mineralogia; e entre esses dois extremos, estão os indicadores intermediários, que demonstram uma crítica influência da capacidade do solo em desempenhar funções, tais como estabilidade de agregados, biomassa microbiana, quociente metabólico, carbono orgânico total e ativo (Doran; Parkin, 1994). Os indicadores intermediários são os de maior importância por serem sensíveis às modificações recentes de manejo (Doran; Zeiss, 2000, Islam; Weil, 2000).

O uso de indicadores de qualidade do solo para avaliação da sustentabilidade ambiental é de grande importância. Porém, a avaliação da qualidade por meio deles é bastante complexa devido à grande diversidade de usos, à multiplicidade de inter-relações entre os fatores físicos, químicos e biológicos que controlam os processos e os aspectos relacionados a sua variação no tempo e no espaço.

Nesse sentido, é finalidade deste estudo testar a eficácia de diversos atributos como indicadores de qualidade do solo e identificar o melhor de produção em termos de sustentabilidade. Além disso, o estudo visa avaliar as relações existentes entre os índices.

3.4 MATERIAIS E MÉTODOS

3.4.1 O LOCAL

O estudo foi realizado no Município de Machadinho no Estado de Rio Grande do Sul. Machadinho localiza-se na região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, a 27° 34'01" de latitude sul e 51° 40'04" de longitude oeste, estando a uma altitude média de 757 metros acima do nível do mar.

Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante é do tipo Cfa, temperado úmido, com temperatura média anual de 18°C, precipitação média anual de 2098 mm/ano e altitude de 757 m. O tipo de solo do local é Latossolo Vermelho Aluminoférrico muito argiloso (EMATER-RS. Escritório local).

3.4.2 SISTEMAS AVALIADOS

Foram avaliados quatro sistemas de produção de erva mate:

- **Erval solteiro (plantio homogêneo),**

Erval plantado de sete anos de idade com distanciamento de 2,5 nas entrelinhas e 1,5 nas linhas. É o sistema mais comum de produção dentro do município sem plantio de culturas anuais nas entrelinhas.

- **Erval consorciado com cultivos agrícolas**

Erval com sete anos de idade plantado com igual distanciamento que o erval homogêneo, mas que teve histórico de plantio de milho e aveia nas entrelinhas até os quatro anos de idade do erval.

- **Erval arborizado com outras espécies florestais**

Este sistema consiste no plantio da erva-mate no distanciamento de 1,5 x 2,5 (2,440 mudas de erva-mate por hectare) com a introdução de árvores de espécies nativas(222 árvores de sombreamento), plantadas dentro das linhas de erva-mate, no espaçamento de 7,50 x 6,0 m. O objetivo de melhorar a qualidade do produto aproximando o plantio às condições naturais de ocorrência da erva-mate. Este sistema tem também 7 anos de idade e as espécies usadas no sombreamento são "Canafístula" *Peltophorum dubium*; "Ipê amarelo" *Tabebuia chrysotriche*, "Ipê roxo"

Tabebuia avellanadae, “Pitanga” *Eugenia uniflora*, “Cedro” *Cedrela fissilis*, “Cabela do brejo” *Machaerium stipitatum*, “Cerejeira” *Eugenia involucrata*, “Guaçatunga” *Casearia decandra*, “Uvaia” *Eugenia pyriformis*, “Ameixa” *Canjerana Cabralea canjerana*, “Canforeira” *Cinnamomum zeylanicum*, “Louro pardo” *Cordia Trichotoma*).

- **Erval nativo (ENA)**

Erval nativo remanescente da exploração de uma floresta ombrofila mista onde foi retirada grande parte das outras espécies com presença de algumas araucárias remanescentes, vegetação arbustiva e gramíneas. Este sistema apresenta uma aparência de área semiaberta, com presença importante de serapilheira.

3.4.3 PROCEDIMENTO DE AMOSTRAGEM

Foram abertas 4 mini-trincheiras por sistema de produção onde foram coletadas uma amostra simples por camada avaliada. As amostras foram retiradas das profundidades de 0-5 e 5-10 cm e consistiram em blocos não deformados de aproximadamente 10 × 10 cm de dimensões laterais coletados com o auxílio de espátulas. Tais amostras foram cuidadosamente embaladas para evitar sua desagregação durante o transporte ao laboratório.

Para a determinação carbono extraído com água quente e carbono hidrolisável foram realizadas amostragens simples de solo a granel das minitrincheiras e das mesmas camadas avaliadas para a estabilidade de agregados e fracionamento densimétrico.

Para a avaliação dos atributos microbiológicos usou-se a amostragem composta. Foram coletadas 2 amostras compostas provindas cada de quatro pontos, uma amostra correspondeu a 4 pontos da linha e o outro a 4 pontos da entrelinha. No erval nativo coletou-se nas proximidades dos pés da erva, 4 pés por amostra composta.

Todas as amostras deformadas foram transportadas em caixas de isopor e conservadas a 5°C até serem avaliadas.

3.4.4 ANÁLISES REALIZADAS

3.4.4.1 ESTABILIDADE DE AGREGADOS

As amostras em blocos não deformados foram fragmentadas manualmente segundo os planos naturais de fraqueza, em tamanho suficiente para passar em peneira de malha 8 mm. A separação e a estabilidade dos agregados em água foram obtidas, segundo o método descrito por Tisdall et al., (1978), adaptado por Carpenedo & Mielniczuk (1990) .

3.4.4.1.1 DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO SECO (DMPs) DE AGREGADOS

Após a secagem ao ar, as amostras foram passadas por peneiras de 4, 2, 1, 0,5, e 0,25 mm, e os agregados foram classificados segundo o diâmetro de abertura da peneira (>4 mm, de 2-4 mm, 1-2 mm, 0,5-1 mm, 0,25 a 0,5 e < de 0,25 mm) e separados em potes plásticos previamente identificados e pesados. As diferentes classes de agregados foram em seguida pesadas e determinados os diâmetros ponderados médios segundo a composição porcentual dos mesmos na amostra original.

Os agregados separados foram classificados também de acordo com Edwards e Bremner (1967): em macro agregado (diâmetro superior a 0,25 mm) e micro agregado (diâmetro inferior a 0,25 mm), sendo distribuídos em macro e microagregado seco (MAAs, MIAs). O diâmetro médio ponderado de agregados úmidos (DMPu) e o diâmetro médio ponderado de agregados secos (DMPs) foram obtidos mediante o cálculo do somatório dos produtos entre o diâmetro médio de cada fração de agregados e a proporção da massa da amostra, obtida por meio da divisão da massa de agregados retidos em cada peneira pela massa total da amostra.

3.4.4.1.2 DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO ÚMIDO (DMPu) DE AGREGADOS

Foi calculada a quantidade de agregados por cada classe (>4, 2-4 mm, 1-2 mm, 0,5-1, 0,25-0,5 mm e < 0,25 mm de diâmetro) para 50 g de solo de cada amostra original. Estes agregados foram colocados em copinhos plásticos e umedecidos por 12 horas. Depois de transcorrido esse tempo os agregados foram agitados em um agitador rotatório manual por 3 minutos e logo transferidos cuidadosamente para cada peneira para o procedimento de peneiração úmida em aparelho do tipo Yoder, ajustado para 36 oscilações por minuto, com amplitude de 25 mm, durante 15 minutos. As frações retidas nas peineiras foram secas em estufa a 50 °C e pesadas. Foram também determinados os teores de macro agregados (MAAU) e micro agregados (MIAU) obtidos depois do peneirado em úmido.

3.4.4.1.3 ÍNDICE DE ESTABILIDADE AGREGADOS

O índice de estabilidade em água das unidades estruturais do solo foi determinado pela relação DMPu / DMPs (Silva & Mielniczuk, 1997).

3.4.4.2 FRACIONAMENTO DENSIMÉTRICO

Foram usadas as mesmas amostras coletadas para a estabilidade de agregados. As amostras de solo foram secas ao ar. Parte da amostra de solo foi analisada quanto ao teor de carbono orgânico por meio do método de combustão seca, em analisador Vario EL III Elementar, e a outra parte, submetida ao fracionamento densimétrico. O preparo das amostras para o fracionamento consistiu na passagem do solo por peneiras de 4, 2, 1, 0,5 e 0,25 mm. Conforme as composições percentuais de classes de agregados foram recompostas amostras de 20 g de solo. Foram adicionados a estas 20 gramas de solo 60 mL de solução de polintungstato de sódio (PTS) de densidade 2,0 kg dm⁻³ em tubo de centrifuga de 100 mL. O tubo foi fechado com rolha e invertido manualmente por cinco vezes visando à liberação da fração leve livre (FLL) e evitando o rompimento dos agregados. A suspensão foi centrifugada a 2000 g por 20 minutos, e o sobrenadante com a fração

leve livre foi filtrado, sob vácuo, em filtro de fibra de vidro (MN GF-1 de 47 mm de diâmetro) previamente pesado. Para retirar o excesso de sal, o filtro contendo a FLL foi lavado com água destilada, sendo seco a 60 °C por 24 h e quantificada a massa de filtro e a FLL.

Para separar fração leve oclusa (FLO), a solução de PTS foi retornada ao tubo o qual foi suspenso novamente e submetido à dispersão com ultra-som, mediante energia de 525 J mL⁻¹ sendo este o nível de energia determinado previamente para obtenção da dispersão total do solo em partículas primárias. Após a dispersão, a suspensão foi novamente centrifugada (2,000 g por 30 min) e a FLO obtida por filtragem, da mesma forma que a FLL.

As frações densimétricas foram analisadas em relação aos teores de carbono da mesma forma que o solo integral.

3.4.4.3 CARBONO ORGÂNICO TOTAL

A determinação da concentração de carbono orgânico total foi realizada nas mesmas amostras de agregados obtidos a partir dos blocos não deformados (camadas de 0-5, e 5-10) por combustão seca em analisador Vario EL III. Uma subamostra de aproximadamente 20 g de solo foi moída em gral até passar em peneira de 0,50 mm de malha. Dessa subamostra, aproximadamente 20 mg foram utilizados efetivamente para a análise.

3.4.4.4 ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS

Foram coletadas duas amostras compostas (uma da linha outra da entrelinha) por cada profundidade de cada sistema avaliado. Estas amostras foram armazenadas em sacos de polietileno sob refrigeração ($\pm 4^{\circ}\text{C}$) até serem analisadas. O solo foi tamisado em peneira de 2 mm e foram retiradas subamostras de 10 g para a determinação da umidade gravimétrica do solo.

O carbono (Cmic) e nitrogênio da biomassa microbiana (Nmic) foram determinados pelo método de fumigação-incubação.

Neste método a biomassa microbiana é estimada com base no fluxo de CO_2 liberado após a incubação de amostras de solo fumigadas e não fumigadas por 10 dias (Jenkinson & Powlson, 1976).

Foram pesadas quatro replicatas de 100 g de cada amostra. Duas replicatas foram fumigadas e incubadas, e as outras duas foram incubadas sem fumigação.

Os frascos com as amostras a serem fumigadas foram colocados em dissecadores contendo uma placa de Petri com 50 mL de clorofórmio isento de álcool. Os dissecadores, após terem a parede interna recoberta com papel-toalha umedecido, foram fechados com a utilização de vaselina e submetidos a vácuo por 5–10 min e deixados em repouso em temperatura ambiente e no escuro por 24 h.

Após esse período, os dissecadores foram abertos para aeração e eliminação do clorofórmio. Para a retirada do clorofórmio, os dissecadores foram evacuados com bomba de ar por cerca de 3 minutos, procedimento repetido por cinco vezes. Os frascos contendo as amostras não-fumigadas também foram deixados em repouso no escuro por 24 h em temperatura ambiente.

Em cada amostra fumigada foram adicionadas 1 g do solo da mesma amostra não-fumigada (reinoculação) e estas novas amostras foram homogenizadas.

A seguir, realizou-se a incubação das amostras em potes de vidro de 2 L, onde foram colocados também um frasco contendo 50 mL de NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e um pote plástico com 20 mL de água. Adicionou-se vaselina à borracha de vedação dos frascos antes de fechá-los.

Os potes foram incubados no escuro, a $25 \text{ }^\circ\text{C}$, por 10 dias. Para cada repetição, foi incubado um frasco sem solo, mas com NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e água deionizada.

Finalizada a incubação, o NaOH das amostras fumigadas e não fumigadas foi titulado com HCl $0,2 \text{ mol L}^{-1}$. Para isso, em alíquotas contendo 5 mL do NaOH , adicionaram-se 1 mL de solução saturada de BaCl_2 , para retirada de carbonato do meio (Na_2CO_3), 20 mL de água deionizada e três gotas do indicador (fenolftaleína), mantendo a solução agitada por meio de agitador magnético. As amostras em branco também foram tituladas.

Após a titulação do NaOH, calculou-se a quantidade de C-CO₂ liberada das amostras fumigadas e não fumigadas.

O C_{mic} foi calculado a partir da expressão:

$$C_{mic} = (C_{fumigado} - C_{nãofumigado}) / kC$$

Para o kC assume-se que 41 % do CBM do solo foram convertidos em CO₂ durante os 10 dias de incubação após a fumigação (Anderson & Domsch, 1978).

Cada subamostra foi também analisada para N mineral (NH₄⁺ e NO₃⁻), conforme descrito em Tedesco et al. (1985). O N da biomassa microbiana foi calculado por meio da equação:

$$N_{mic} = (N_{fumigado} - N_{nãofumigado}) / kN$$

O kN representa a fração do N microbiano mineralizado durante o período de incubação. O fator kN 0,57 (Jenkinson, 1988) foi utilizado.

O quociente microbiano, ou relação C_{mic}/CO, foi calculado de acordo com Sparling (1992), pela expressão:

$$qMic = \frac{\left[\frac{C_{mic}}{CO} \right]}{10}$$

Sendo qMic: quociente microbiano (%);

C_{mic}: carbono da biomassa microbiana (µg, g⁻¹);

CO: carbono orgânico total (g kg⁻¹).

A taxa de respiração basal foi estimada pelo CO₂ liberado a partir de 20 g de solo durante incubação por 72 h, O CO₂ foi capturado por solução de NaOH 0,05 mol L⁻¹ e determinado por titulação com HCl 0,05 mol L⁻¹ (Isermeyer, 1952).

O quociente metabólico (qCO₂) foi calculado pela razão entre a taxa de respiração basal e o carbono da biomassa microbiana, sendo expresso em µgCO₂ µgCmic⁻¹ h⁻¹ (Anderson & Domsch, 1993).

3.4.4.5 CARBONO LABIL POR METODOLOGIAS QUIMICAS

As metodologias químicas usadas foram a hidrólise ácida (HCl 6M), segundo Leavitt *et al.*, 1996; e extração com água quente (Hot Water extractable Carbon, HWC), segundo Haynes e Francis (1993).

3.4.4.5.1 HWC (Hot water extractable carbon)

Nas mesmas amostras coletadas para o fracionamento densimétrico, separaram-se aproximadamente 70 g por amostra original. Estas amostras foram conservadas a 5 °C até serem analisadas.

Para a análise propriamente dita usou-se 3 g por amostra de solo, as quais foram colocadas em tubos de ensaios e adicionadas 30 ml de água deionizada, os tubos foram submetidos a uma temperatura de 80 °C por 16 horas contínuas. Depois de transcorrido o tempo de extração o extrato foi recuperado por centrifugação (3500 rpm por 20 minutos), separado do resíduo, e conservado na geladeira até serem feitas as medições de carbono. O carbono liberado na extração foi medido no analisador total de carbono SHIMADZU TOC-VCPH.

3.4.4.5.2 Hidrolise ácida

Usaram-se as mesmas amostras separadas e conservadas em frio para a análise de HWC. Foi pesado o equivalente a 1 g de solo seco por amostra e colocadas em tubos de polipropileno.

Adicionou-se ao solo 25 ml de HCl 6M e deixou-se reagir por um período de duas horas a uma temperatura de 105 °C. O resíduo da hidrolise foi separado do sobrenadante por centrifugação (6040 g por 10 minutos) e lavado três vezes com água deionizada para a remoção do cloreto restante. O resíduo remanente foi seco em estufa a 60° C, pesado e analisado por combustão seca em analisador Vario EL para determinar o carbono recalcitrante.

Calcularam-se os índices de recalcitrância para cada amostra,

$$IR(\%) \equiv \left(\frac{Cr \times mr}{COT \times mt} \right) \times 100$$

Sendo:

Cr=Carbono da fração não hidrolisada

COT=Carbono orgânico total

mr= massa do resíduo da hidrólise

mt=massa inicial (1g)

O carbono lábil produto da hidrólise foi determinado pela diferença entre o Carbono orgânico total e o carbono resistente à hidrólise.

3.4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Quanto às análises estatísticas foi aplicado o teste de Bartlett, de homogeneidade das variâncias. Posteriormente foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Para então aplicar o teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade, para comparação de médias das diversas variáveis dos sistemas estudados. Foram relacionados os diferentes parâmetros através do coeficiente de correlação de Pearson.

Os valores médios dos indicadores físicos, químicos e biológicos foram utilizados para análise de componentes principais (PCA) por meio do programa XLSTAT.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.5.1 CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS SOLOS

Nas tabelas 2.1 e 2.2 apresentam-se as propriedades químicas e caracterização granulométrica, respectivamente. Pode-se observar a acidez potencial elevada do solo sob condição natural (erval nativo).

O solo avaliado tem uma textura muito argilosa com teores de argila acima de 500 g kg⁻¹. Esta condição granulométrica permite a retenção e estabilidade de grande parte do carbono que entra ao corpo do solo.

TABELA 2.1- CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS SOLOS POR CAMADA E POR SISTEMA DE EXPLORAÇÃO

sistema	Profundidade cm	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	Ca+Mg	Al	H*Al	P
			cmol _c dm ⁻³						mg dm ⁻³
ENA	0-5	3,85	0,29	0,71	0,65	1,36	3,04	12,26	1,23
	5-10	3,80	0,21	0,29	0,59	0,88	3,48	12,52	1,44
AG	0-5	4,77	0,19	3,86	4,17	8,03	0,17	6,49	0,92
	5-10	4,56	0,10	2,59	3,77	6,36	0,79	7,14	0,32
EH	0-5	4,88	0,45	3,76	3,77	7,53	0,18	5,16	2,68
	5-10	4,44	0,10	2,48	2,55	5,03	0,39	6,77	1,09
FL	0-5	5,39	0,45	4,82	5,69	10,50	0,08	5,03	2,11
	5-10	5,20	0,24	2,90	5,78	8,67	0,58	6,34	1,30

TABELA 2.2- COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS SOLOS POR CAMADA E POR SISTEMA DE EXPLORAÇÃO

SISTEMA	PROFUNDIDADE	AREIA	SILTE	ARGILA
		g Kg ⁻¹		
ENA	0-5	149	251	600
	5-10	155	275	570
EH	0-5	144	236	620
	5-10	135	215	650
SAF	0-5	124	271	605
	5-10	117	248	635
FL	0-5	143	297	560
	5-10	136	264	600

3.5.2 CARBONO ORGÂNICO TOTAL

Segundo Larson e Pierce (1994) a presença no solo, da matéria orgânica ou carbono orgânico no solo é um indicativo de qualidade que reflete a eficiência das práticas de manejo. Assim perdas acentuadas de carbono orgânico do solo resultam em baixos estoques de matéria orgânica e isto tem influência diretamente na depreciação da qualidade de solo o que interfere na sustentabilidade dos ecossistemas. Por isso, as perdas de matéria orgânica comprometem as funções básicas do solo depreciando as terras pela degradação e diminuição de produtividade.

No presente estudo o carbono orgânico total teve uma variação significativa tanto em profundidade quanto em relação aos sistemas de produção. Para todos os sistemas as maiores concentrações de carbono situaram-se nas camadas mais superficiais (0-5 cm).

Dentro dos sistemas o erval nativo apresentou os maiores teores e o erval homogêneo os menores teores de carbono. Os maiores teores de carbono na superfície do erval nativo resultam da maior adição de matéria orgânica devido a

constante deposição de serapilheira, a menor freqüência na coleta, e a não movimentação do solo dos ervais nativos que permite a acumulação e incorporação gradual do material vegetal no solo.

TABELA 2.3 - TEOR DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL

SISTEMA	0-5 **	5-10 ***
	cm	cm
g. Kg ⁻¹		
ENA **	39,43 Aa	34,09 Ba
AG **	37,86 Aab	29,83 Bb
FL **	33,04 Abc	26,63 Bbc
EH **	29,76 Ac	24,73 Bc
C.V (%)	14,43	17,21

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

*** Diferença significativa ao nível de 0,1% de probabilidade ($p < 0,001$)

** Diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade ($0,001 < p < 0,01$)

* Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 < p < 0,05$)

3.5.3 ESTABILIDADE DE AGREGADOS

O uso de atributos físicos de solo para o estudo da sua qualidade apresenta vantagens relacionadas ao baixo custo, metodologias simples e rápidas e relação direta com os demais atributos químicos e biológicos do solo (Mendes et al., 2006).

Um dos atributos mais importantes para se avaliar a qualidade é a sua estrutura. A melhoria da estrutura é acompanhada pelo aumento de permeabilidade, pelo decréscimo na erodibilidade e pela redução do escoamento superficial de água e, conseqüentemente, pela redução da erosão hídrica e aumento da qualidade do solo (Siqueira et al., 1994; Wischmeier, 1966).

Solos bem agregados possuem propriedades físico-hídricas como: retenção e movimentação de água, porosidade total e aeração favorável. A estabilidade dos agregados permite qualificar as condições de resistência do solo a dispersão,

compactação, emergência de plântulas, difusão de ar e retenção de água (Tormena, 1995). A ação das plantas na formação e na estabilização dos agregados tem sido amplamente ressaltada (Campos et al., 1995; Silva e Mielniczuk, 1997a; Silva e Mielniczuk, 1997b). As raízes geram agregação estável mediante o suprimento de resíduos orgânicos para a decomposição, exsudações de substâncias orgânicas, envolvimento físico de micro agregados e reorientação e aproximação de partículas e micro agregados por dessecaamentos localizados (Silva e Mielniczuk, 1997b).

A diminuição dos macro agregados em profundidade parece estar fortemente relacionada ao teor de COT (Oliveira et al., 1993; Paladini e Mielniczuk, 1991; Haynes, 1999; Palmeira et al., 1999).

Apesar da matéria orgânica ser considerada a maior responsável pela estabilidade física dos solos, muitos trabalhos têm mostrado que a vegetação e os minerais de argila também têm desempenhado um papel fundamental na qualidade do solo (Paladini e Mielniczuk, 1991; Goldberg, 1989). Além da matéria orgânica do solo, deve-se destacar o efeito da rizosfera, sendo um importante sítio de produção de mucilagens, substâncias estabilizadoras de agregados, e ainda fonte de energia para os microorganismos que através da decomposição liberam polissacarídeos estabilizadores (Oades, 1978).

Quanto aos agregados obtidos por peneiragem via seca (Tabela 2.4) foram constatadas variações significativas tanto em profundidade quanto nos sistemas. Porém, não foram encontradas diferenças significativas destas variáveis para as profundidades do erval nativo. Para o DMPS, só houve variação significativa para o erval homogêneo, sendo maior para a camada de 5-10 cm. As percentagens de micro agregados obtidos via seca foram sempre maiores na camada mais superficial, Já os macro agregados apresentaram uma tendência contrária, sendo as percentagens maiores na camada de 5-10 cm. Quanto às diferenças entre sistemas o erval homogêneo apresentou o menor DMPS na camada de 0-5 e as menores percentagens de macro agregados nas duas profundidades avaliadas.

Os agregados obtidos por peneiragem via úmida (tabela 2.5) apresentaram também diferenças enquanto a profundidade e tratamento (sistema). Encontrou-se diferenças significativas em profundidade para o DMPU só no sistema com histórico

de consorcio agrícola, sendo maior a media na camada de 5-10. Os micro e macro agregados só apresentaram diferença significativa em profundidade para o erval homogêneo, sendo os MIAU maiores na camada superficial e os MAAU menores nesta camada.

O erval nativo apresentou os maiores DMPU enquanto o erval homogêneo apresentou os menores valores para este parâmetro. Quanto aos MIAU, o erval com histórico de consorcio agrícola teve os maiores valores estatisticamente só para a camada de 0-5. Nos MAAU não foram identificadas diferenças significativas entre os sistemas para nenhuma das profundidades.

Os valores médios dos macro e microagregados sofreram alterações. Houve uma alta elevação para os microagregados e redução dos macro agregados em virtude da fragmentação causada pelo umedecimento.

De uma forma geral os valores IEA não tiveram grandes oscilações nas camadas estudadas dos 4 sistemas, o que pode ser explicado pelos semelhantes teores de matéria orgânica e ainda por todos esses sistemas não serem intensamente exploradas como aconteceria com culturas de ciclo curto. Para Dufranc et al. (2004) solos com altos teores de argila pode-se esperar alta estabilidade de agregados.

Os maiores valores de IEA se deram no erval nativo seguido do sistema arborizado com espécies nativas. Isto devido que ambos os sistemas caracterizam-se pela produção de abundante vegetação a qual protege os agregados da superfície contra a desagregação pelo impacto da chuva e variações bruscas de umidade. Ao mesmo tempo, o contínuo fornecimento de material orgânico, serve de energia para a atividade microbiana, cujos subprodutos, constituídos de moléculas orgânicas atuam como agentes de formação e estabilização dos agregados (Allison, 1973).

Os menores valores de IEA na camada de 0-5 cm se deram no erval com histórico de consorcio agrícola isto provavelmente resultou da quebra de agregados produto do preparo do solo por aração.

Segundo Edwards e Bremner (1967) o aumento da estabilidade dos agregados está intimamente relacionado com a capacidade da matéria orgânica de se aderir às partículas minerais do solo, formando ligações argilo-metal-húmicas.

TABELA 2.4 - DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO SECO (DMPS), MACRO AGREGADOS SECOS (MAAS), MICRO AGREGADOS SECOS (MIAS) NAS PROFUNDIDADES DE 0-5 cm E 5-10 cm.

SISTEMAS	DMPS		MIAS		MAAS	
	0-5*	5-10*	0-5*	5-10***	0-5*	5-10***
	mm		%		%	
ENA	2,868 Ab	3,101 Aab	6,96 Aa	6,157 Aa	93,04 Ab	93,84 Ac
AG	3,450 Aa	3,634 Aa	5,412 Aab	2,254 Bc	96,40 Ba	97,74 Aa
FL	2,721 Ab	2,878 Ab	6,508 Aa	4,492 Bb	93,51 Bb	95,51 Ab
EH	2,700 Bb	3,428 Aab	3,601Ab	2,334 Bc	94,62 Bab	97,66 Aa

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha para cada variável não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

*** Diferença significativa ao nível de 0,1% de probabilidade ($p < 0,001$)

** Diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade ($0,001 < p < 0,01$)

* Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 < p < 0,05$)

TABELA 2.5 - DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO SECO (DMPU), MACRO AGREGADOS ÚMIDOS (MAAU), MICRO AGREGADOS ÚMIDOS (MIAU) NA PROFUNDIDADE DE 0-5 cm e 5-10 cm.

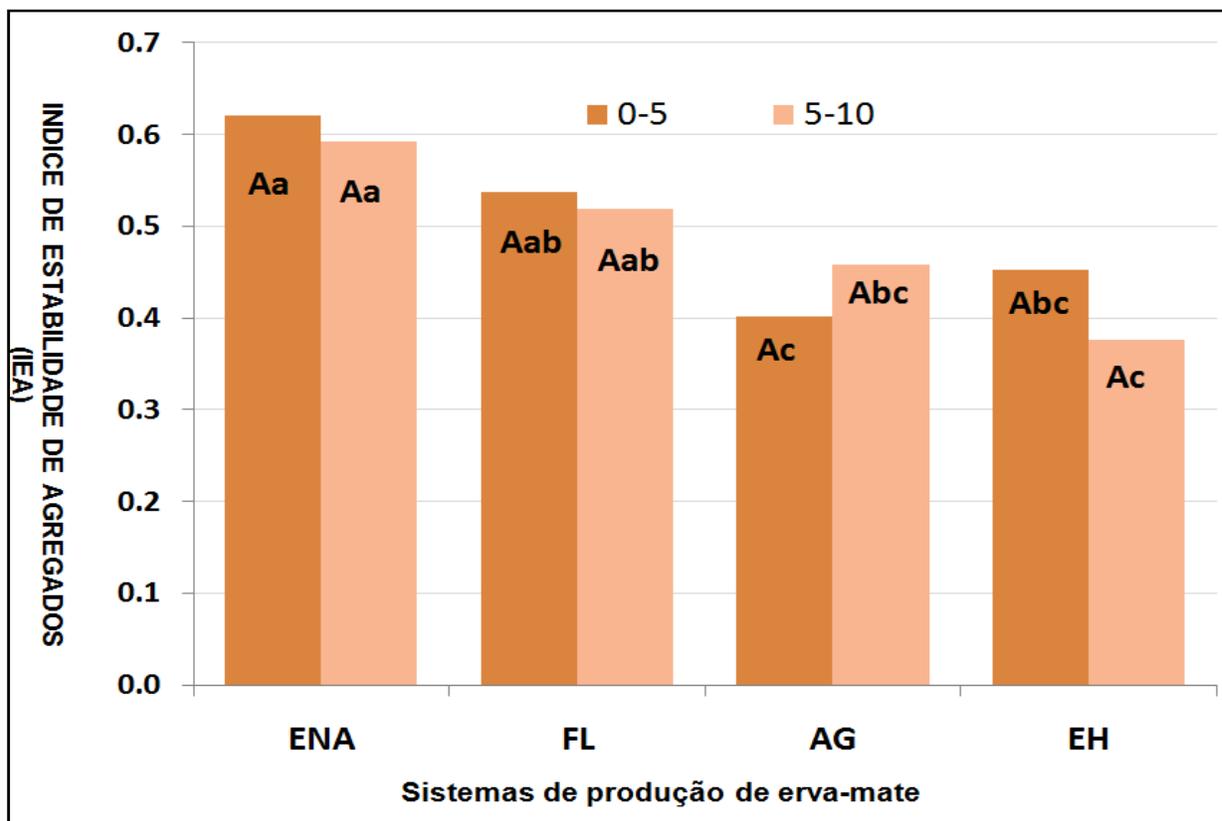
SISTEMAS	DMPU		MIAU		MAAU	
	0-5*	5-10**	0-5*	5-10 n,s	0-5 n,s	5-10 n,s
	mm		%		%	
ENA	1,782 Aa	1,834 Aa	15,17 Ab	16,26 Aa	84,8 Aa	83,71 Aa
AG	1,386 Bab	1,654Aab	21,9 Aa	18,17 Aa	78,04 Aa	81,83 Aa
FL	1,463 Aab	1,498 Abc	16,3 Ab	15,42 Aa	83,6 Aa	84,57 Aa
EH	1,234 Ab	1,257 Ac	21,0 Aab	15,77 Ba	78,9 Ba	84,22 Aa

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha para cada variável não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

*** Diferença significativa ao nível de 0,1% de probabilidade ($p < 0,001$)

** Diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade ($0,001 < p < 0,01$)

* Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 < p < 0,05$)



Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade dentro da mesma profundidade,

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade dentro do mesmo tipo de sistema de produção,

FIGURA 2.1. INDICE DE ESTABILIDADE DE AGREGADOS NAS PROFUNDIDADES DE 0-5 E 5-10 EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ERVA-MATE.

3.5.4 CARBONO DA FRACAO LEVE

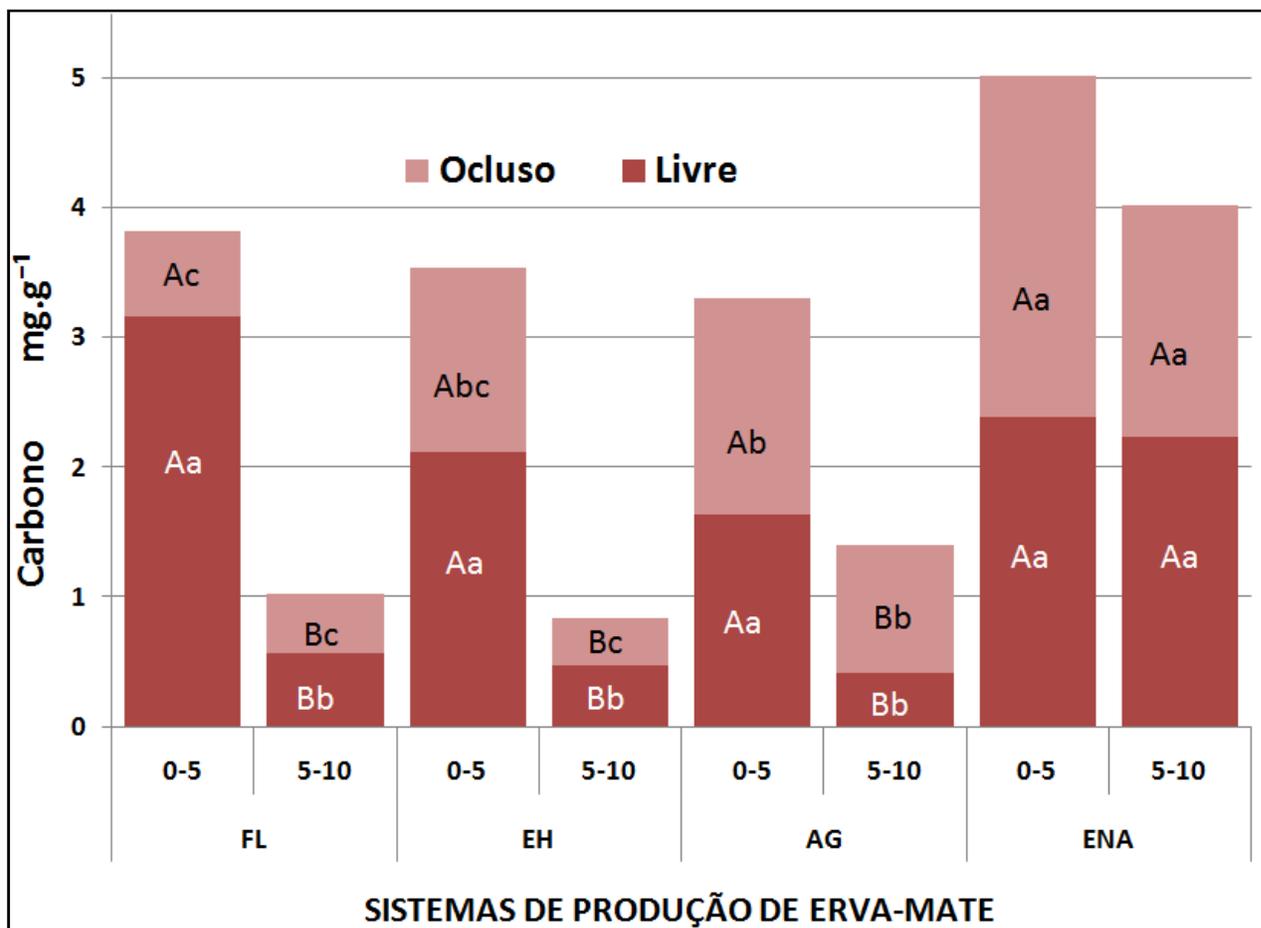
A separação do carbono orgânico do solo em compartimentos pode ser útil para identificar e elucidar diferenças na estrutura, função e biodisponibilidade do carbono.

Marland *et al.* (2004) considera dois compartimentos presentes no carbono do solo uma fração lábil e outra fração estável. Para esta classificação o carbono estável corresponde à fração organo-mineral ou carbono complexado com partículas de silte e argila, e o carbono lábil corresponde ao carbono presente no horizonte O e C nas frações do solo do tamanho da areia.

Esta diferenciação entre pools de carbono permite a identificação de frações lábeis, as quais respondem mais rapidamente às mudanças meio ambientais e podem ser usadas como indicadoras da qualidade do solo (Khanna *et al.*, 2001).

Piccolo *et al.*(2004) avaliando uma plantação homogênea de erva mate de 50 anos, uma plantação de erva mate enriquecida recentemente com pastagem de capim elefante e uma área de floresta nativa na Argentina na Provincia de Misiones em condições de subtropico e solo Kandihumult encontraram um decréscimo significativo do carbono orgânico do solo tanto da fração particulada (fração lábil) quanto da fração organo-mineral (fração recalcitrante) quando submetida à plantação homogênea. Porém, com o capim elefante usado como cultivo de cobertura, encontrou-se um aumento no acúmulo de carbono em curto tempo.

Nos resultados obtidos neste estudo observou-se uma situação similar à encontrada por Piccolo onde os sistemas mais complexos enquanto número de espécies e estrutura apresentaram os valores mais altos de carbono particulado (da fração leve). Para todos os sistemas de produção de erva-mate a exceção do erval nativo houve quedas fortes nos teores do carbono das frações leve da profundidade de 0-5 para a camada de 5-10.



Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade dentro do tipo de fração leve e para uma mesma profundidade.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade dentro do tipo de fração leve e para um mesmo tipo de sistema de produção.

FIGURA 2.2- CARBONO DA FRAÇÃO LEVE LIVRE E LEVE OCLUSA NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ERVA-MATE.

3.5.5 ÍNDICES MICROBIOLÓGICOS

Segundo Souza et al. (2006) a biomassa microbiana e a atividade da mesma são atributos de grande importância na determinação da qualidade do solo, devido a sua alta sensibilidade ao manejo, sendo afetados rapidamente quando ocorre mudanças de um sistema natural (sem ação antrópica) para um sistema cultivado.

Os sistemas de produção de erva-mate apresentaram diferenças estatísticas significativas só para o carbono da biomassa microbiana (C_{mic}). Os outros atributos microbiológicos medidos não apresentaram diferença significativa nem nos sistemas nem nas profundidades, porém, observou-se uma tendência a serem maiores para as camadas de 0-5.

Os maiores valores de C_{mic} , N_{mic} , e Q_{mic} se encontraram no erval nativo seguido do sistema consorciado com árvores nativas.

Numericamente o qCO_2 foi maior no erval homogêneo em relação aos demais ecossistemas (tabelas 2.6 e 2.7). Esse ecossistema apresentou ainda valores baixos de quociente C microbiano/C orgânico. Esses resultados demonstram que, embora EH apresente uma alta atividade microbiana, o ambiente é mais estressante para os microrganismos do solo, visto o maior valor de qCO_2 .

Contrariamente, o sistema ENA apresentou (em média das duas profundidades) o menor valor qCO_2 e a maior relação C microbiano/C orgânico, indicando se tratar de ecossistema com maior densidade microbiana sob equilíbrio e baixo estresse ambiental advindo, provavelmente, das melhores condições físicas do solo.

TABELA 2.6. CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA Cmic, NITROGÊNIO BIOMASSA MICROBIANA Nmic, RESPIROMETRIA, QUOCIENTE MICROBIANO Qmic, QUOCIENTE METABÓLICO qCO₂ NA CAMADA DE 0-5 cm.

SISTEMA	Cmic	Nmic	Respirometria	Qmic	qCO ₂
	µg.g ⁻¹	µg.g ⁻¹	µg CO ₂ .g ⁻¹	%	µgCO ₂ µgCmic ⁻¹ h ⁻¹
ENA	371,31 a	78,59 a	80,45 a	1,031 a	0,210 a
AG	255,41 b	42,16 a	51,4 a	0,699 a	0,202 a
EH	174,765 c	57,46 a	70 a	0,662 a	0,406 a
FL	259,035 b	62,945 a	70,85 a	0,802 a	0,281 a
C.V (%)	35,78	35,02	32,58	23,79	40,13

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

TABELA 2.7. CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA Cmic, NITROGÊNIO BIOMASSA MICROBIANA Nmic, RESPIROMETRIA, QUOCIENTE MICROBIANO Qmic, QUOCIENTE METABÓLICO qCO₂ NA CAMADA DE 5-10cm.

SISTEMA	Cmic	Nmic	Respirometria	Qmic	qCO ₂
	µg.g ⁻¹	µg.g ⁻¹	µg CO ₂ .g ⁻¹	%	µgCO ₂ µgCmic ⁻¹ h ⁻¹
ENA	335,095 a	81,17 a	75,5 a	1,00 a	0,248 a
AG	150,42 c	44,03 a	50,5 a	0,413 a	0,340 a
EH	161,175 c	57,585 a	68,6 a	0,655 a	0,426 a
FL	218,29 b	65,595 a	62,6 a	0,942 a	0,301 a
C.V (%)	40,47	34,88	27,41	38,90	35,04

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

3.5.6 CARBONO EXTRAÍVEL COM ÁGUA QUENTE (HWC)

Não houve diferença significativa entre as profundidades avaliadas para o carbono extraído com água quente (HWC). Por outro lado, encontrou-se diferenças entre os tratamentos (SISTEMAS). Assim para ambas as profundidades o erval nativo apresentou os maiores teores de carbono, tendo os outros sistemas iguais teores de HWC estatisticamente, porém numericamente o erval homogêneo foi o sistema com os menores valores. O carbono extraível com água quente (HWC) apresentou um comportamento similar ao carbono da biomassa microbiana, decrescendo em profundidade e sendo significativamente maior para o erval nativo, seguido do sistema arborizado.

Porém, o Cmic mostrou-se mais sensível permitindo distinguir 3 níveis, enquanto, para a análise estatística do HWC, só diferenciou o erval nativo dos outros sistemas.

Esta semelhança em comportamento deve-se, como já foi demonstrada por Haynes e Francis (1993), que a fração de carbono extraída com água quente é principalmente de origem microbiana.

TABELA 2.8 - CARBONO EXTRAÍVEL COM ÁGUA QUENTE (HWC)

Sistemas	Profundidade		cm	
	0-5 **		5-10 **	
µg g ⁻¹				
ENA	2388	Aa	2274	Aa
AG	1609	Ab	1283	Ab
FL	1629	Ab	1201	Ab
EH	1395	Ab	1195	Ab
C.V (%)	31,18		39,64	

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

*** Diferença significativa ao nível de 0,1% de probabilidade ($p < 0,001$)

** Diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade ($0,001 < p < 0,01$)

* Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 < p < 0,05$)

3.5.7 CARBONO HIDROLISADO

A metodologia da hidrólise ácida tem sido usada com sucesso por diversos pesquisadores (Leavitt et al., 1996; Xu et al., 1997; Collins et al., 2000) para distinguir entre as frações de carbono lábil e recalcitrante, Rovira e Vallejo (2000) afirmam que esta técnica permite determinar o tamanho do sumidouro de carbono recalcitrante do solo.

A fração hidrolisada é majoritariamente composta de proteínas, ácidos nucléicos, e polissacarídeos (Schnitzer e Khan, 1972; Schnitzer e Preston, 1983; Rovira e Vallejo, 2002) e algum carbono carboxílico (Preston e Schnitzer, 1984); enquanto o resíduo não hidrolizado contém principalmente lignina e componentes relacionados, gorduras, resinas e suberinas (Rovira e Vallejo, 2002).

A diferença da técnica do carbono extraído com água quente (HWC) que extrai só uma pequena parte dos carboidratos para, a hidrólise ácida com 6M HCl que consegue remover até 90% dos carboidratos (Preston e Schnitzer, 1984).

Na tabela 2.9 apresentam-se os teores de carbono hidrolisado para cada um dos sistemas e profundidades. A análise estatística revela que o erval nativo possui os maiores teores do carbono lábil, sendo os sistemas com erva cultivada similares em resposta a este atributo, Isto é devido, à maior e constante aporte de matéria orgânica em condições de menor perturbação.

TABELA 2.9- CARBONO ORGANICO LIBERADO NA HIDROLISE ÁCIDA

Sistemas	Profundidade	cm	
		0-5 n.s	5-10 **
		g Kg⁻¹	
ENA n.s		20,392 Aa	19,095 Aa
AG *		18,590 Aa	13,241 Bb
FL n.s		13,736 Aa	16,462 Ab
EH n.s		17,672 Aa	15,979 Ab
	C.V (%)	17,91	17,19

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

*** Diferença significativa ao nível de 0,1% de probabilidade ($p < 0,001$)

** Diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade ($0,001 < p < 0,01$)

* Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 < p < 0,05$)

3.5.8 CARBONO RESISTENTE À HIDROLISE

Leavitt et al. (1996) usando a técnica de datação radiocarbonica mostraram que a fração resistente à hidrólise é relativamente mais antiga que a fração hidrolisada.

Os resultados apresentados na tabela 2.10 revelam baixos valores do carbono recalcitrante (38-47% do carbono total) quando comparados com o carbono orgânico de fração pesada. Isto acontece devido aos altos teores do carbono que se libera na técnica da hidrólise, parte da qual a pesar de ser lábil quimicamente pode estar protegida por mecanismos físicos como o de agregação.

TABELA 2.10 - CARBONO ORGANICO RESISTENTE A HIDROLISE ÁCIDA

Sistemas	Profundidade	
	0-5 n.s	5-10 **
	cm	
	g Kg ⁻¹	
ENA *	19,360 Aa	15,003 Ba
AG *	11,172 Aa	11,488 Aab
FL *	15,917 Aa	10,163 Bb
EH *	19,372 Aa	13,614 Bab
C.V (%)	18,02	25,27

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

*** Diferença significativa ao nível de 0,1% de probabilidade ($p < 0,001$)

** Diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade ($0,001 < p < 0,01$)

* Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 < p < 0,05$)

3.5.9 RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS

Foram correlacionados os diferentes atributos físicos, químicos e biológicos. Para todas as correlações a exceção das que incluíam a biomassa microbiana foram contrastadas pares de amostras coletadas nas mesmas condições. Aquelas incluindo a biomassa microbiana foram feitas com as medias por tratamento, Isto devido a que foram coletadas menos amostras para estes atributos.

3.5.9.1 RELAÇÕES ENTRE O COT E OUTROS ATRIBUTOS

A matéria orgânica é considerada por muitos pesquisadores como um dos principais agentes de estabilização de agregados, apresentando forte correlação com a estabilidade de agregados (Castro filho et al., 1998). Outros autores, além da matéria orgânica, associam também a maior eficiência de agregação, com a densidade de raízes (Silva e Mielnicuk, 1998).

Segundo Tisdal e Oades (1980) o carbono orgânico (COT) é um dos principais fatores de formação e estabilidade dos agregados, sendo comum encontrarem-se correlações positivas entre as duas variáveis. Diversos pesquisadores têm encontrado coeficientes de correlação do COT com os valores dos índices de agregação positivos e significativos (Paladini e Mielniczuk, 1991; Palmeira et al., 1999).

Castro Filho et al. (1998) e Wendling et al. (2005) avaliando a influencia dos sistemas de preparo em Latossolos Vermelhos encontraram boas correlações entre o COT e IEA ($r=0,749$ e $r=0,67$, respectivamente). Os resultados deste estudo considerando essas duas variáveis mostraram uma correlação positiva, porem um coeficiente de determinação baixo ($r^2=0,222$, $r=0,4411$). Isto se explica pelo fato dos sistemas de produção de erva-mate variarem menos em termos do COT e serem mais sensíveis ao IEA. A baixa variação do COT se deve ao caráter alumino-ferrico do solo estudado o qual pela presença de óxidos de ferro e alumínio confere uma maior resistência à perda de carbono.

Na figura 2.3 apresentam-se correlações entre Índice de estabilidade de agregados, Carbono hidrolisado, Carbono resistente a hidrólise e Carbono da fração pesada com o carbono orgânico total.

As correlações do carbono orgânico total e o carbono das frações lábeis foram muito fracas. Isto se reflete na diferença do teor de carbono total entre os tratamentos a qual é mínima, enquanto a variação do carbono nas frações lábeis entre sistemas é maior e mais nítida por elas serem mais sensíveis às mudanças ambientais. Por outro lado, quando contrastado o carbono orgânico total com as frações mais estáveis (fração pesada e carbono resistente a hidrólise ácida) estas apresentaram coeficientes de correlação maiores, indicando que estas frações são mais recalcitrantes e variam de forma similar ao carbono orgânico total.

3.5.9.2 VARIÁVEIS RELACIONADAS AO IEA

Os resultados revelam que existe uma maior relação entre as formas mais lábeis de carbono e a estabilidade de agregados. Assim, encontraram-se coeficientes de determinação de 0,328 quando contrastado com a fração leve total, de 0,4941 com o HWC e de 0,595 com o Cmic. Esse fato foi constatado também por Campos et al.

(1995), os quais relataram que os compostos orgânicos e a ação microbiana têm atuação na estabilidade de agregados, pela alta correlação apresentada entre o conteúdo de COT e a atividade microbiana com o diâmetro médio geométrico dos agregados. O mesmo autor afirma que a influência da matéria orgânica sobre a agregação do solo ocorre por um processo dinâmico já que ao se adicionar grande quantidade do material orgânico no solo, a atividade microbiana se intensifica, resultando em produtos (agentes cimentantes) que proporcionam a formação e estabilização de agregados. Nóbrega (1999) acrescenta que grandes quantidades de resíduos vegetais com relação C/N moderada podem ajudar a estabilizar a estrutura do solo por períodos maiores, atribuindo-se esse efeito ao reforço interno dos agregados originado das secreções bacterianas.

3.5.9.3 CORRELAÇÕES COM ATRIBUTOS BIOLÓGICOS

Outras das variáveis que se correlacionaram positiva e fortemente foram o carbono da biomassa microbiana e o HWC. Diversas pesquisas têm demonstrado que a quantidade de Carbono liberado na extração com água quente está fortemente relacionada com a biomassa microbiana do solo, com a evolução do CO₂ e a microagregação (Haynes e Francis, 1993; Ghani et al., 2003).

Haynes e Francis (1993) demonstraram que a fração de carbono extraída com água quente corresponde a compostos orgânicos carbonados mais facilmente degradados e é principalmente de origem microbiano.

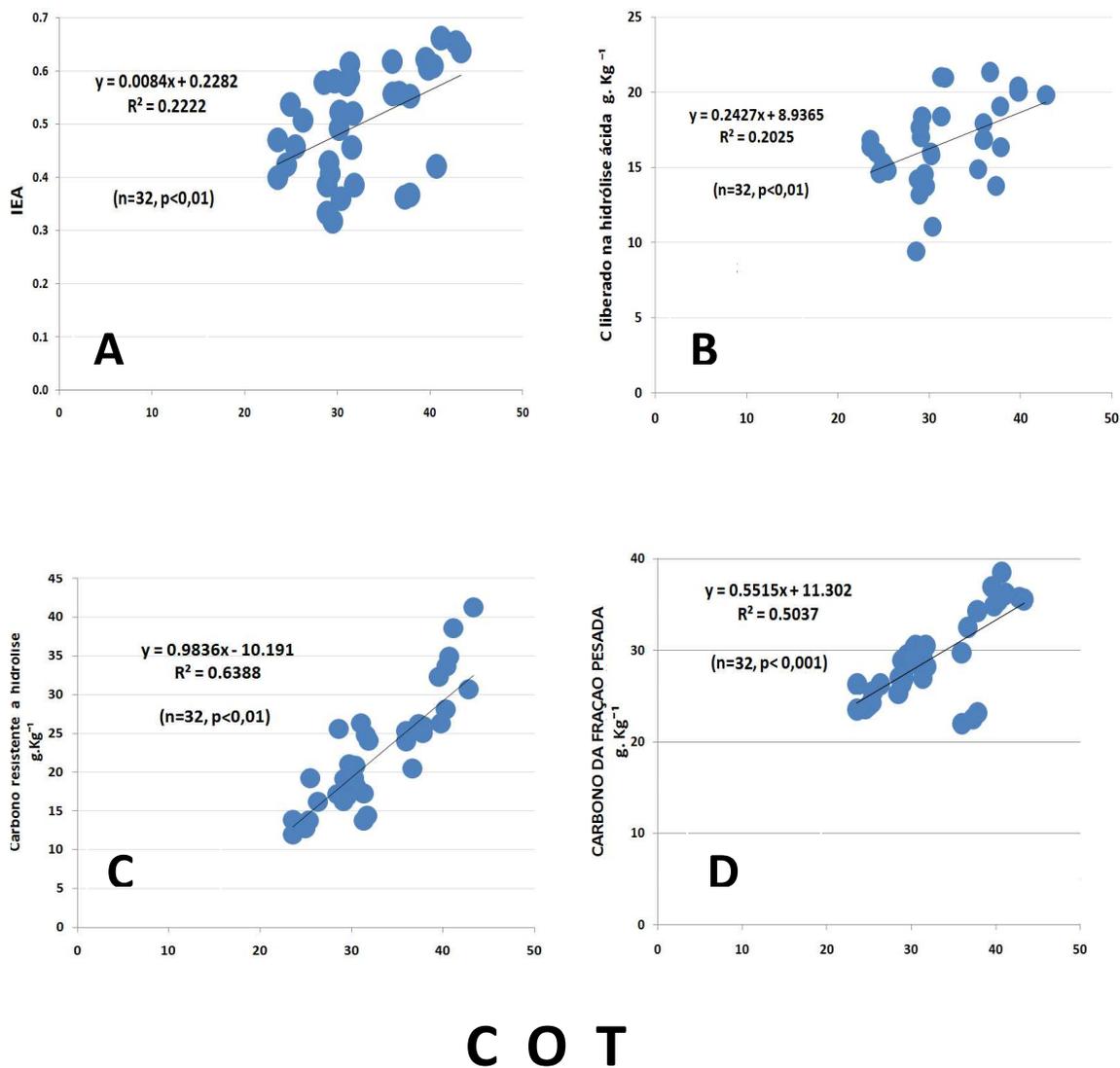
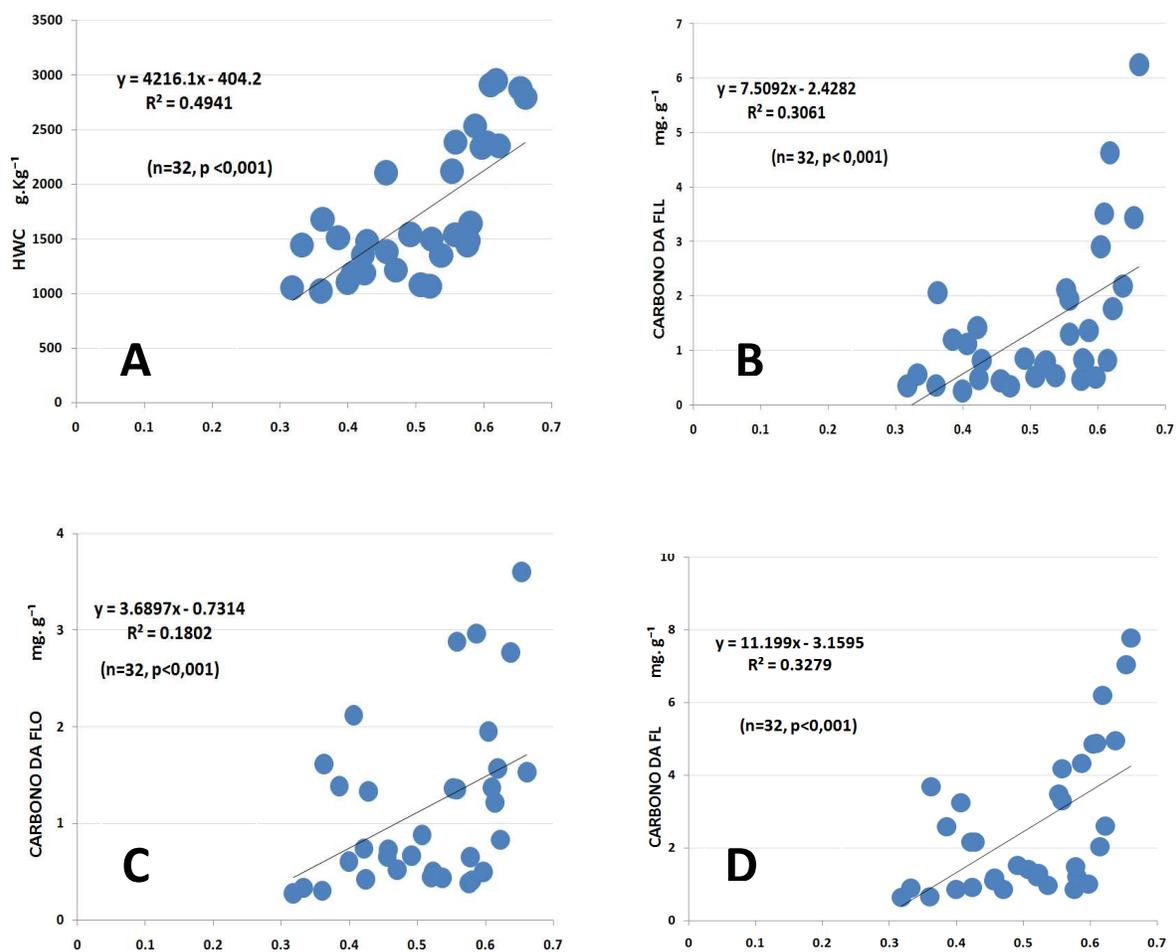
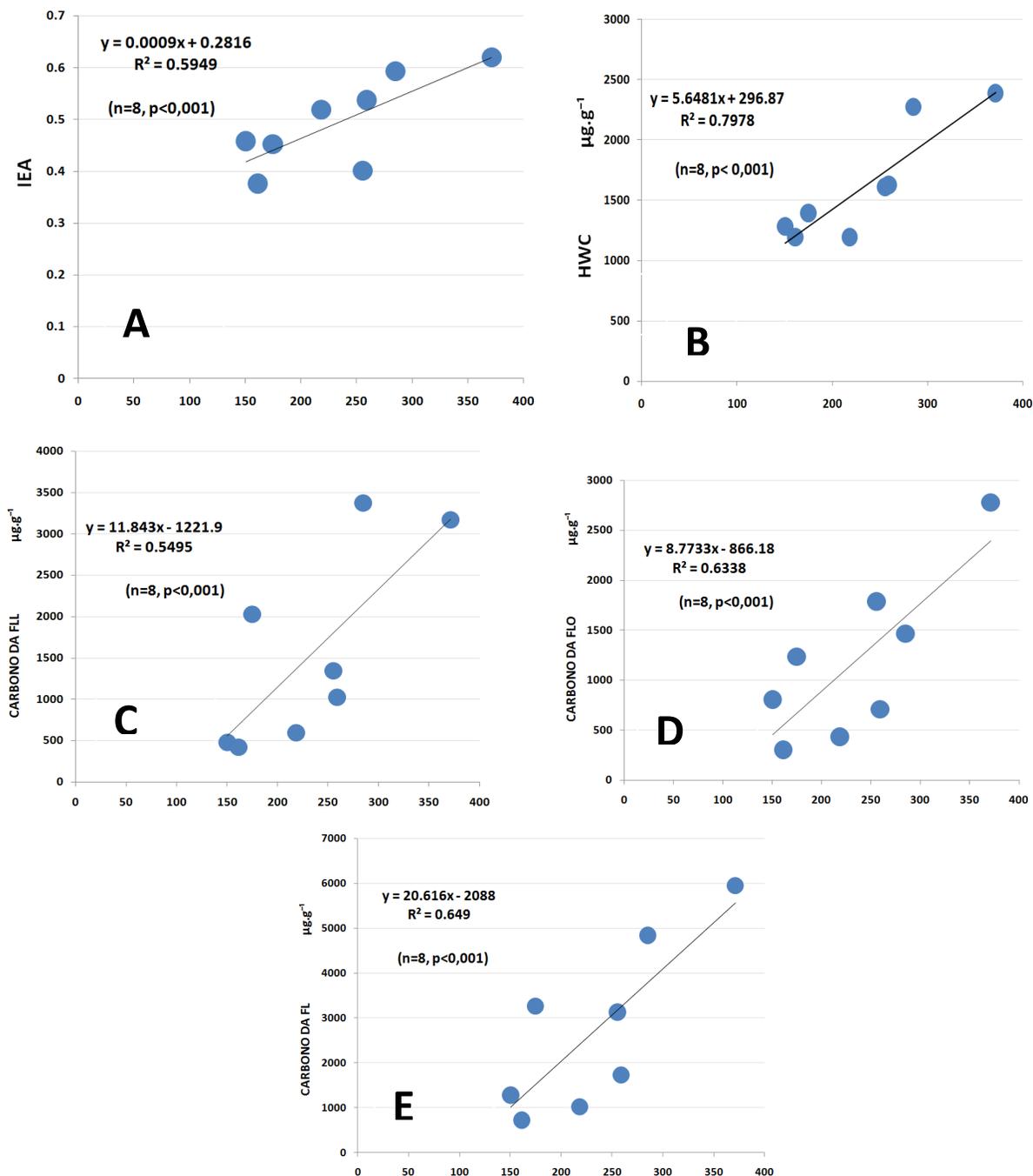


FIGURA 2.3- CORRELAÇÕES ENTRE CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) E A) ÍNDICE DE ESTABILIDADE DE AGREGADOS (IEA), B) CARBONO HIDROLISADO, C) CARBONO RESISTENTE A HIDRÓLISE E D) CARBONO DA FRAÇÃO PESADA.



IEA

FIGURA 2.4- CORRELAÇÕES ENTRE ÍNDICE DE ESTABILIDADE DE AGREGADOS (IEA) E A) CARBONO EXTRAÍVEL EM ÁGUA QUENTE (HWC), B) CARBONO DA FRAÇÃO LEVE LIVRE (FLL), C) CARBONO DA FRAÇÃO LEVE OCLUSA (FLO) E D) CARBONO DA FRAÇÃO LIVRE TOTAL (FL).



Carbono da biomassa microbiana

FIGURA 2.5- CORRELAÇÕES ENTRE CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA E A) ÍNDICE DE ESTABILIDADE DE AGREGADOS, B) CARBONO EXTRAÍVEL EM ÁGUA QUENTE (HWC), C) CARBONO DA FRAÇÃO LEVE LIVRE (FLL), D) CARBONO DA FRAÇÃO LEVE OCLUSA (FLO), E) CARBONO DA FRAÇÃO LEVE TOTAL (FL).

3.5.9.4 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

A Análise de Componentes Principais (ACP) é uma das técnicas multivariadas mais amplamente usadas em diversas áreas, pois permite transformar um conjunto de variáveis originais, inter-correlacionadas, num novo conjunto de variáveis não correlacionadas, as componentes principais. Estas novas variáveis geradas, as componentes principais, são combinações lineares das variáveis originais que contem a maior parte da variabilidade inicial dos dados (Diaz, 2002).

Graças à esta análise apesar dos solos estudados apresentarem características físicas, químicas biológicas semelhantes é possível caracterizar a tendência entre os diferentes sistemas de produção.

Os componentes principais (F1 e F2) compuseram 89,97 % da variância total dos dados, F1 apresentou 66,27 % da variância total e o F2 compôs 20,70 %.

Pode-se notar a separação espacial do erval nativo dos outros sistemas, maior parte dos atributos esteve fortemente correlacionada com ele, Já o erval homogêneo apresenta a melhor correlação com o quociente metabólico, provindo dos maiores valores deste índice no sistema. É também notória a proximidade espacial do erval arborizado ao erval nativo, o qual como já foi demonstrado nas análises uni-variadas, a maioria dos atributos apresentaram os mais altos valores para o erval nativo seguido do sistema arborizado.

Tomando o eixo F1 como aquele que proporciona a maior informação, encontramos uma proximidade grande entre o erval homogêneo e aquele com histórico de consorcio com culturas agrícolas.

Considerando-se a inter-relação entre todos os indicadores o erval nativo constitui o sistema com a maior qualidade de solo.

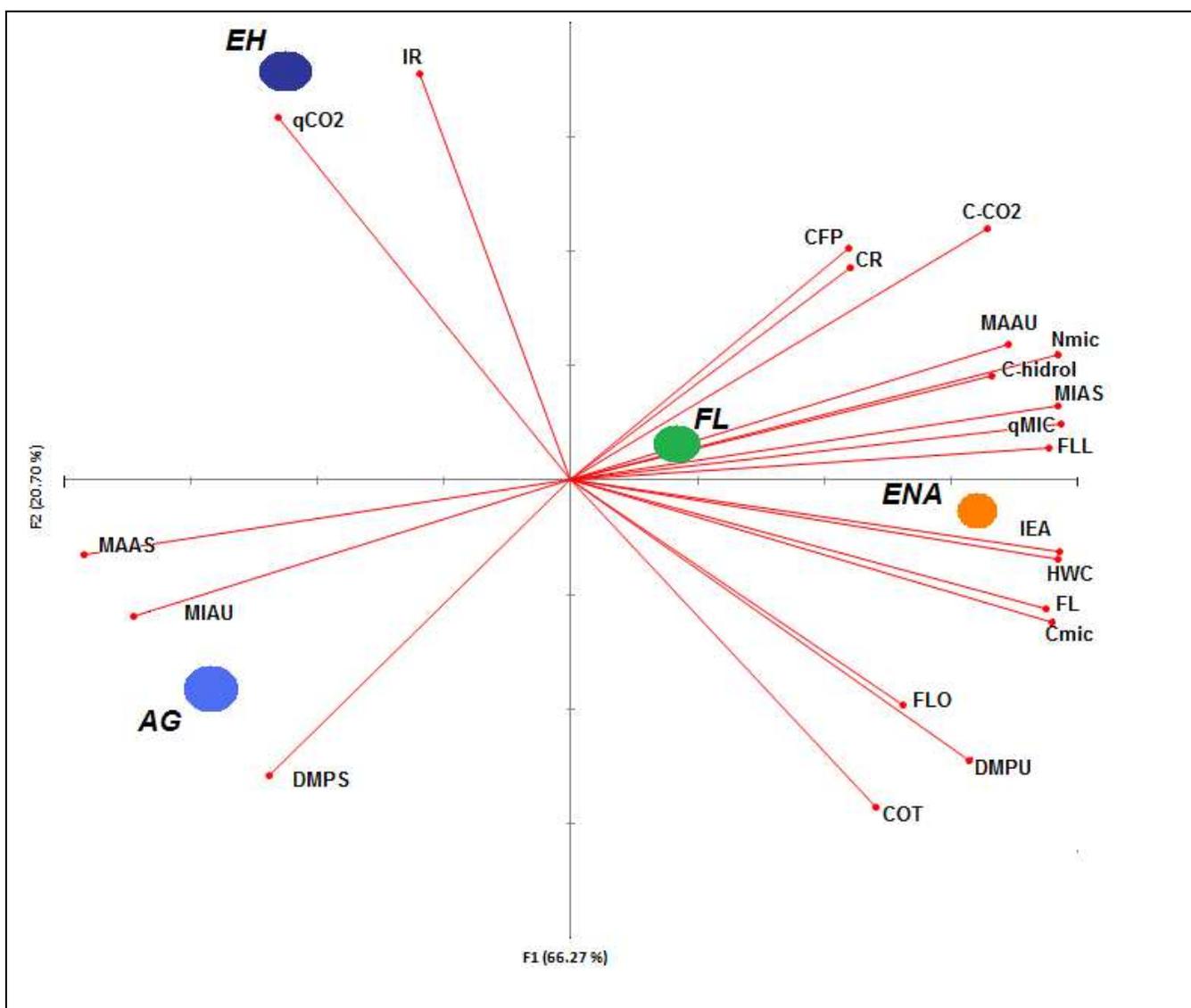


FIGURA 2.6- ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DAS MÉDIAS DOS ATRIBUTOS INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO (DMPS=Diâmetro médio ponderado seco, DMPU=Diâmetro médio ponderado úmido, MAAS=Macroagregados secos, MIAAS=Microagregados secos, MAAU=Macroagregados úmidos, MIAU=Microagregados úmidos, IEA=Índice de estabilidade de agregados, COT=Carbono orgânico total, FL=Carbono da fração leve total, FLL=Carbono fração leve livre, FLO=Carbono da fração leve oclusa, HWC=Carbono extraível com água quente, Cmic= Carbono da biomassa microbiana, qMIC=Quociente microbiano, qCO2=Quociente metabólico, C-CO2=Respirometria, CR=Carbono resistente a hidrólise acida, CFP=Carbono da fração pesada, C-hidrol=Carbono hidrolisado) DOS DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ERVA-MATE (ENA=erval nativo, FL=Sistema consorciado com árvores nativas, AG=Sistema com histórico de consorcio de culturas agrícolas, EH=Eral homogêneo).

3.6 CONCLUSÕES

- O carbono orgânico total apresentou baixas correlações com os outros parâmetros avaliados refletindo a baixa sensibilidade deste atributo para detectar mudanças nos ecossistemas.
- O erval homogêneo apresentou os menores valores para a maioria dos atributos medidos refletindo a baixa contribuição deste sistema na preservação ou melhora da qualidade do solo.
- O sistema consorciado com árvores nativas por apresentar valores altos para a maior parte dos atributos de qualidade pode ser recomendado como o melhor sistema de produção de erva-mate.

3.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**, Londres: Academic Press, 576p, 1995.

ALLISON, F, E. **Soil organic matter and its Role in crop production**, Amsterdam, Elsevier, p, 315-345, 1973,

ANDERSON, J, P, E; DOMSCH, K, H, A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil. **Soil Biology & Biochemistry**. Oxford, v. 10, p, 215-221, 1978,

ANDERSON, J. P. E; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO₂ as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such Ph, on the microbial biomass of Forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.25, p. 393-395, 1993.

ARAUJO, G. G. L. Opções no uso de forrageiras arbustivo-arboreas na alimentação animal no semiarido do nordeste, In: CARVALHO, M.M. ; ALVIM, M,J.; CARNEIRO, J.C., Sistemas agroflorestais pecuários: Opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais, Juiz de Fora, p.111-137, 2001.

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

CAMPOS, B.C, et al., Estabilidade estrutural de um latossolo vermelho escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v.19, p.221-226, 1995.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **R, Bras. Ci. Solo**, v.14, p.99-105, 1990.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PADANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.3 p.527-538, 1998.

COLLINS, H.P.; ELLIOT, E.T.; PAUSTIAN, K.; BUNDY, L.G.; DICK, W.A.; HUGGINS, D.R.; SMUCKER, A.J.M.; PAUL, E. A. Soil carbon pools and fluxes in longterm corn belt agroecosystems. **Soil Biol. Biochem**, v.32, p.157–168, 2000.

DIAZ, L, Estadística multivariada: inferência y métodos,.Universidad Nacional de Colombia, p.191-199, 2002.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality, In: Doran, J, W.; COLEMAN, D. C. ; BEZDICEK, D. F. ; STEWART, B.A. Defining soil quality for a sustainable environment, Madison. **Soil Science Society of America**, v.35, p.3-22, 1994.

EDWARDS, A.P.; BREMMER, J, M, Microaggregates in soils. **J.Soil Sci.**, v.18, p.64-73, 1967.

DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. Soil health and sustainability; Managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v.15, p.3-11, 2000.

DORAN, J.W. ; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M.A.; Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, San diego, v.56, p. 1-54, 1996.

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

GHANI, A.; DEXTER, M.; PERROTT, K.W. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilization, grazing and cultivation. **Soil Biol, Biochem**, v. 35, p. 1231–1243, 2003.

GOLDBERG, S, Interaction of aluminum and iron oxides and clay minerals and their effect on soil physical properties. **Commun, Soil Sci, Plant Anal.**, v.20, p.1181-1207, 1989.

HAYNES, R.J. Labile organic matter fractions and aggregate stability under short-term, grass-based leys. **Soil biology and Biochemistry**, v.31, p. 1821-1830, 1999.

HAYNES, R.J.; FRANCIS, G.S. Changes in biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. **J, Soil Sci**, v.44, p.665–675, 1993.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of soil and Water Conservation**, v.55, p.69-78, 2000.

ISERMEYER, H. Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und Karbonate im Boden, **Z, Pflanzenernäh Bodenk**, v,56, p,26-38, 1952.

IZAC, A.M.N.; SANCHEZ, P.A. Towards a natural resource management paradigm for international agriculture: the example of agroforestry research. **Agricultural Systems**, v.69, p.5-25, 2001.

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

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.8, p.209-213, 1976.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition and framework for valuation. **Soil Science Society of America**, Madison, v. 61(1), p. 4-10, 1997.

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. **Biological Indicators of Soil Health**, Cab International, Oxon, UK., p.1-23,1994.

KHANNA, P. K.; LUDWIG, B.;BAUHUS, J.; O'HARA, C. Assesment and significance of labile organic C pools in forest soils, In: Lal, R.; KIMBLE, J.M.;FOLLET, R.F.; STEWART, B.A. **Assesment methods for Soil carbon.**, p,167-182, 2001.

LEAVITT, S.W.; FOLLETT, F.R.; PAUL, E. A. Estimation of slow- and fast-cycling soil organic carbon pools from 6 N HCl hydrolysis. **Radiocarbon**, v. 38, p.231–239, 1996.

MARLAND, G.; GARTEN, C. T.; POST, W. M; WEST, T.O. Studies on Enhancing Soil Organic, **Energy**, v. 29, p. 1643-1650, 2004.

MENDES, F.G.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, **CERNE**, Lavras, v.12(3), p.211-220, 2006.

NÓBREGA, J. C. A. Adição de fosfato e de micorriza, e estabilidade de agregados em amostras de Latossolos cultivados e não cultivados. Lavras, Universidade Federal de Lavras (Tese de Mestrado) , 1999, 64p.

OLIVEIRA, M.; CURI, N.; FREYRE, J.C. Influencia do cultivo na agregação de um podzólico vermelho amarelo textura médio argilosa da regia lavras (MG), **Revista Brasileira de Ciencia do solo**, v.7, p. 317-322, 1983.

OADES, J.M. Mucilages at the root surface, **J. Soil Sci.**, v.29, p.1-16, 1978.

PRESTON, C.M.; SCHNITZER, M. Effects of chemical modifications and extractants on the carbon-13 NMR spectra of humic materials. **Soil Sci, Soc, Am, J**, v.,48, p, 305–311, 1984.

PALADÍNI, F. L. S.; MIELNICZUC, J. Distribuição do tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-escuro afetado por sistemas de culturas.**Revista Brasileira de Ciencia do solo**, v, 15, p,135-140, 1991.

PALMEIRA, P,R,T, et al., Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v.23, p, 189-195, 1999.

SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.; GRISSI, B.M.; HUMGRIA, M.; ARAUJO, R.S. Microrganismos e procesos biológicos: perspectiva ambiental, Brasilia, DF: Embrapa142 p, (Documento 45), 1994.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciencia do solo**, v.21, p.313-319, 1997 a.

SILVA, I. F. ; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciencia do solo**, v.21, p. 113-117, 1997 b.

SANCHEZ, M. D. Panorama dos sistemas agroflorestais pecuários na América Latina, In: CARVALHO, M. M. ; ALVIM, M. J. ; CARNEIRO, J.C. **Sistemas agroflorestais pecuários: Opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais**, Juiz de Fora, p.111-137, 2001.

SCHROTH, G, et al. Conversion of secondary forests into agroforestry or monoculture plantations in the Amazonia: consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years. **Forestry Ecology and Management**, v.163, p.131-150, 2002.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indication of changes in soil organic matter. **Aust, J, Soil, Res.**, v.30, p,195-207, 1992.

SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H.B. ; SILVA, C. A. ; BUZZETTI, S. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejo do solo. **Acta Science Agronomy**, v.28, n.3, p,323-329, 2006.

ROVIRA, P.; VALLEJO, V.R. Labile and recalcitrant pools of carbon and nitrogen in organic matter decomposing at different depths in soil: an acid hydrolysis approach. **Geoderma**, v.107, p.109–141, 2002.

SCHNITZER,M.; KHAN, S.U. Humic **Substances in the Environment**, NewYork, Marcel Dekker , 1972.

SCHNITZER, M.; PRESTON, C.M. Effects of acid hydrolysis on the ^{13}C NMR spectra of humic substances. **Plant Soil**, v.75, p. 201–211, 1983.

TEDESCO, J.M.; VOLKWEISS, S.J. & BOHNEN, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 188 p. (Boletim técnico, 5)

XU, J. M.; CHENG, H. H.; KOSKINEN, W. C.; MOLIN, J.A. E. Characterization of potentially bioreactive soil organic carbon and nitrogen by acid hydrolysis. **Nutr. Cycl. Agroecosyst**, v.49, p. 267–271, 1997.

WISCHMEIER, W.H. Surface runoff in relation to physical and management factors, In: Panamerican soil conservation congress, 1, Sao Paulo, Proceedings, **CBSC**, p.237-244, 1966.

SILVA, I,F,; MIELNICZUK, J, **Sistemas de Cultivo e Características do Solo Afetando a Estabilidade de Agregados** Revista Brasileira de Ciencia do solo, v,22, p,311-317, 1998,

PICCOLO, G. A.; GALANTINI, J.A. ; ROSELL, R.A. Organic Carbon Fractions in a yerba mate plantation on a subtropical Kandihumult of Argentina, **Geoderma**, Elsevier Science B.V. Amsterdam, v.123, p. 333-341, 2004.

ROVIRA, P.;VALLEJO, V.R. Examination of thermal and acid hydrolysis procedures in characterization of soil organic matter. **Commun. Soil Sci. Plant Anal**, v.31, p,. 81–100, 2000.

SANTANA, D.P.; BAHIA FILHO, A.F.C. Soil quality and agricultural sustainability in the Brazilian Cerrado, In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 16, 1998, Montpellier, Montpellier: ISSS, CD-ROM, 1998.

TISDALL, J.M.; COCKROFT, B.; UREN, N.C. The stability of soil aggregates as affected by organic materials, microbial activity and physical disruption, **Aust.J. Soil Res**, v.16, p.9-17, 1978.

TORMENA, C.A. Resíduos culturais: Efeito no controle da erosão e alterações em propriedades físicas do solo. In: Curso sobre manejo do solo no sistema plantio direto, Anais, Castro – PR, p.37-51, 1995.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. de SÁ.; NEVES, J.C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.40, n.5, p.487-494, 2005.

IV. CONCLUSÕES GERAIS

O cultivo de erva-mate é uma prática muito difundida no Sul do Brasil, vários autores têm salientado a importância sócio-econômica e ambiental, quando bem manejada, do seu cultivo.

Mediante o presente estudo tem sido comprovada o baixo impacto do cultivo da erva-mate em termos de modificação das propriedades físicas quando comparado com um sistema natural, foi também comprovado o benefício do consórcio da erva com outros cultivos na melhora dos atributos físicos e na qualidade do solo. A diferença estatística não significativa entre os estoques de carbono dos sistemas deve-se ao curto tempo de implantação dos mesmos, aos altos teores de argila, óxidos de ferro e alumínio e à baixa sensibilidade deste atributo para detectar mudanças nos ecossistemas. Já, quando avaliadas frações lábeis da matéria orgânica e atributos relacionados encontrou-se que o erval nativo seguido do sistema arborizado apresentaram os maiores valores, refletindo a melhora da qualidade do solo com o consórcio de outras espécies.