**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Evolução do funcionamento físico-hídrico do solo em diferentes
sistemas de manejo em áreas de agricultura familiar na região do
Vale do Ribeira, SP**

Raul Shiso Toma

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Solos e
Nutrição de Plantas

**Piracicaba
2012**

Raul Shiso Toma
Engenheiro Agrônomo

Evolução do funcionamento físico-hídrico do solo em diferentes sistemas de manejo em áreas de agricultura familiar na região do Vale do Ribeira, SP

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **MIGUEL COOPER**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Solos e
Nutrição de Plantas

**Piracicaba
2012**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Toma, Raul Shiso

Evolução do funcionamento físico-hídrico do solo em diferentes sistemas de manejo em áreas de agricultura familiar na região do Vale do Ribeira, SP / Raul Shiso

Toma. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2012.

236 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Agricultura familiar 2. Água do solo 3. Condutividade hidráulica do solo
4. Porosidade do solo 5. Processamento de imagens 6. Sistemas agroflorestais
I. Título

CDD 631.432
T655e

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Aos meus pais, Artur e Sueli, por todo carinho, amor e incentivo
A meu irmão Hugo e minha cunhada Cláudia pela amizade e incentivo sempre

OFEREÇO E DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente.

Ao Prof. Dr. Miguel Cooper pela confiança, cooperação, paciência, amizade e orientação.

Ao Prof. Dr. Yves Coquet pela orientação nos trabalhos desenvolvidos na França.

Aos membros do Conselho de Pós-Graduação do Programa de Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade oferecida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela bolsa concedida no início do doutorado e pela bolsa no exterior (Sanduiche).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento do projeto e pela bolsa concedida até o término da tese.

Ao Prof. Álvaro Pires da Silva pelo uso do laboratório de física, Prof. Paulo Leonel Libardi pelos equipamentos cedidos.

Ao CIEM/CPRM, pelo alojamento e infraestrutura de apoio.

Ao Fábio Leonardo Tomás pela ajuda na escolha das áreas e apoio.

Aos donos das áreas de estudo: Zaqueu, Otoniel, Joaquim, Toninho, Zé Pinheiro, Adriano, Michel, Sergio e Faz. Reunidas, pela gentileza em cederem as suas áreas para as coletas.

À Eliana e Silvia da Biblioteca Central pela checagem da parte editorial e referências bibliográficas.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo, Dorival, Jair, Célia, Camila, Martinha, Marta, Marcão, Luis Silva, Anderson, Chiquinho, Marlene e Rossi em especial a Sonia, pelo apoio e ajuda.

Aos alunos de graduação, Lucas, Mateus, Alix, Carla e Kátia, em especial Ariane, Mayra e Camila, por todo o apoio e colaboração nas atividades de campo e laboratório.

A todos os colegas da pós-graduação em especial Clevea, Edison, Getulio, Lorena, Marina, Osvaldo, Sergio e Sueli pela amizade e pelo incentivo.

Aos meus irmãos da conservação do solo, Jaqueline, João, Laura, Mariana, Renata B, Renata M., Selene, Tatiana e Thalita pela amizade, ajuda, apoio, incentivo, carinho e alegrias vividas.

A Sâmala, pelo companheirismo, carinho, atenção, apoio, paciência e incentivo em todos os momentos.

E a todos meus amigos os quais os nomes não estão aqui, mas que sempre estiveram comigo me ajudando direta ou indiretamente me dando força e coragem para continuar e desenvolver este trabalho.

Muito Obrigado!

"Procuro semear otimismo e plantar sementes de paz e justiça. Digo o que penso, com esperança. Penso no que faço, com fé. Faço o que devo fazer, com amor. Eu me esforço para ser cada dia melhor, pois bondade também se aprende. Mesmo quando tudo parece desabar, cabe a mim decidir entre rir ou chorar, ir ou ficar, desistir ou lutar; porque descobri, no caminho incerto da vida, que o mais importante é o decidir."

Cora Coralina

SUMÁRIO

RESUMO.....	13
ABSTRACT	15
1 INTRODUÇÃO	17
1.1 O Vale do Ribeira e o município de Apiaí.....	17
1.2 Histórico do assentamento prof. Luiz David de Macedo	18
1.3 Sistema convencional de plantio	18
1.4 Sistemas agroflorestais	19
1.5 Sistemas de cultivo orgânico.....	21
1.6 Micromorfologia.....	21
1.7 Dinâmica da água no solo	24
1.8 Dupla porosidade	26
1.9 Modelagem utilizando Hydrus 1D.....	27
Referências	31
2 EVOLUÇÃO TEMPORAL DO COMPORTAMENTO FÍSICO HÍDRICO DO SOLO NOS DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO	43
Resumo.....	43
Abstract	43
2.1 Introdução	44
2.2 Material e métodos	46
2.2.1 Descrição do local de estudo	46
2.2.2 Histórico das áreas.....	48
2.2.3 Atributos químicos do solo	54
2.2.3.1 Matéria orgânica.....	54
2.2.3.2 Determinação da matéria orgânica (g kg ⁻¹)	54
2.2.4 Atributos físicos do solo.....	54
2.2.4.1 Análise granulométrica	54
2.2.4.2 Densidade do solo.....	55
2.2.4.3 Densidade de partículas	55
2.2.4.4 Porosidade calculada	55
2.2.4.5 Micromorfologia e distribuição de poros no solo por análise de Imagens	56
2.2.5 Atributos físico-hídricos	59
2.2.5.1 Condutividade Hidráulica.....	59
2.2.6 Análise estatística	60

2.3 Resultados e discussões	60
2.3.1 Granulometria	60
2.3.2 Matéria orgânica	63
2.3.3 Densidade do solo	68
2.3.4 Densidade de partículas e porosidade calculada	78
2.3.5 Micromorfologia	84
2.3.6 Condutividade hidráulica.....	116
2.4 Conclusões	128
Referências.....	129
3 RELAÇÃO SOLO – ÁGUA - VEGETAÇÃO EM TRÊS TIPOS DE COBERTURA VEGETAL NO MUNICÍPIO DE APIAÍ	137
Resumo	137
Abstract.....	137
3.1 Introdução.....	138
3.2 Material e métodos	139
3.2.1 Descrição do local de estudo.....	139
3.2.2 Descrição morfológica do solo	140
3.2.3 Atributos químicos do solo	142
3.2.3.1 Determinação do pH em CaCl_2 $0,01\text{mol L}^{-1}$	142
3.2.3.2 Determinação do pH em água	142
3.2.3.3 Determinação do pH em KCl 1 mol L^{-1}	142
3.2.3.4 Determinação da acidez potencial - $\text{H}^+\text{+Al}$ ($\text{mmol}_c\text{ kg}^{-1}$)	143
3.2.3.5 Determinação de alumínio trocável – Al ($\text{mmol}_c\text{ kg}^{-1}$)	143
3.2.3.6 Determinação da matéria orgânica (g kg^{-1}).....	143
3.2.3.7 Determinação do potássio – mehlich 1 ($\text{mmol}_c\text{ kg}^{-1}$)	144
3.2.3.8 Extração de cálcio, magnésio e fósforo	144
3.2.4 Atributos físicos do solo	145
3.2.4.1 Análise granulométrica	145
3.2.4.2 Densidade do solo	145
3.2.4.3 Densidade de partículas	146
3.2.4.4 Porosidade calculada.....	146
3.2.5 Micromorfologia e distribuição de poros no solo por análise de imagens	146
3.2.6 Atributos físico-hídricos.....	148
3.2.6.1 Medidas de umidade do solo	148

3.2.6.2 Curva de retenção de água no solo	151
3.2.6.3 Condutividade hidráulica saturada (Ksat).....	152
3.2.7 Estatística.....	153
3.3 Resultados e discussões.....	153
3.3.1 Granulometria.....	154
3.3.2 Atributos Químicos	156
3.3.3 Densidade do solo, densidade de partículas e porosidade calculada	163
3.3.4 Micromorfologia e distribuição de poros no solo por análise de imagens.....	166
3.3.5 Curva de retenção de água no solo	171
3.3.6 Condutividade hidráulica saturada	176
3.3.7 Variação sazonal da umidade do solo.....	179
3.4 Conclusões.....	189
Referências	189
4 CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO EM TRÊS TIPOS DE COBERTURA VEGETAL NO MUNICÍPIO DE APIAÍ – SP: DESEMPENHO E SENSIBILIDADE DO MODELO HYDRUS 1D.....	195
Resumo.....	195
Abstract	195
4.1 Introdução	196
4.2 Material e métodos.....	198
4.2.1 Local de estudo	198
4.2.2 Simulação com o modelo Hydrus 1D	198
4.3 Resultados e discussões.....	199
4.3.1 Simulação dos fluxos de água no solo	199
4.3.2 Comparações entre observado x simulado pelo modelo Hydrus 1D	205
4.4 Conclusões.....	213
Referências	213
5 CONCLUSÕES GERAIS.....	217
ANEXOS	221

RESUMO

Evolução do funcionamento físico-hídrico do solo em diferentes sistemas de manejo em áreas de agricultura familiar na região do Vale do Ribeira, SP

Este estudo avaliou a evolução dos atributos físico-hídricos do solo sob diferentes sistemas de manejo (orgânico, agroflorestal e convencional), caracterizou o funcionamento físico-hídrico e avaliou o modelo Hydrus 1D em três coberturas vegetais distintas (agricultura orgânica, sistema agroflorestal - SAF e capoeira) em áreas de agricultura familiar no município de Apiaí – SP. A avaliação da evolução ao longo do tempo dos atributos físico-hídricos do solo foi realizada através do monitoramento da densidade do solo, porosidade calculada, porosidade por análise de imagens, condutividade hidráulica e do conteúdo de matéria orgânica para cada propriedade com diferentes sistemas de manejo. A caracterização do funcionamento físico-hídrico dos solos, e a obtenção dos dados de entrada para o modelo Hydrus 1D foram realizadas por meio da coleta de amostras para análises químicas, granulométricas, densidade de partículas, densidade do solo, curva de retenção, condutividade hidráulica saturada e análise de imagens. O monitoramento da umidade do solo “in situ” foi obtido por sensores instalados nos principais horizontes das trincheiras e associados aos dados de precipitação coletados em estação meteorológica automática instalada na área. Os resultados da evolução ao longo do tempo dos três sistemas de manejo mostraram altos valores de matéria orgânica, principalmente na profundidade de 0,0 – 0,2 m, porém não demonstraram tendência de acúmulo. Altos valores de matéria orgânica proporcionam ao solo baixa densidade e altos valores de porosidade, resultando em maior condutividade de água no solo. Todos os sistemas apresentaram atributos físicos e hídricos com boas condições para o cultivo, não sendo o solo um impedimento para a manutenção destes sistemas nesta região; além disso, o uso de sistemas de manejo agroecológicos é uma alternativa interessante para a região como forma de prática agrícola conservacionista. Em relação à caracterização físico-hídrica, os três solos sob diferentes coberturas vegetais, apresentaram, principalmente nos horizontes superficiais, altos valores de matéria orgânica e porosidade, porosidade esta representada por poros complexos grandes, que são responsáveis pela alta condutividade hidráulica e são determinantes na presença de duas regiões com propriedades hidráulicas contrastantes que confere o comportamento bimodal das curvas de retenção. Na modelagem dos dados e suas comparações, o modelo Hydrus não foi eficiente para a predição dos valores de umidade nos solos estudados, pois, no geral, apresentou valores simulados de umidade mais baixos para todos os horizontes das trincheiras nas três áreas quando comparados com os dados observados. Entretanto, apresentou bons resultados na predição dos volumes de runoff, que neste trabalho não foram medidos, mas observados no campo. Estes resultados confirmam a necessidade de mais estudos com relação à predição de movimentos da água em condições heterogêneas de culturas, visto que os dados de entrada com relação à vegetação são de difícil escolha, principalmente no SAF por apresentar alta diversidade de espécies.

Palavras-chave: Água no solo; Dupla porosidade; Análise de imagens; Condutividade hidráulica; Sistema agroflorestal; Sistema convencional; Sistema orgânico; Hydrus 1D

ABSTRACT

Evolution of the hydro-physical functioning in different management systems in family agriculture areas in the Vale do Ribeira region, SP.

This study evaluated the evolution of hydro-physical attributes of the soil under different management systems (Organic, Conventional and Agroforestry), characterized the hydro-physical functioning and assessed the Hydrus 1D model in three different cover crops (Organic agriculture, Agroforestry Systems and “Capoeira”) in family agriculture areas, municipality of Apiaí - SP. The evaluation of the evolution over time of the hydro-physical attributes of the soil was performed by monitoring the soil bulk density, calculated porosity, porosity by image analysis, hydraulic conductivity and organic matter content for each family agriculture property with different management systems. The characterization of the hydro-physical functioning of the soil, as well as the attainment of the input data for the Hydrus 1D model, were done by collecting samples for chemical analysis, particle size distribution, particle density, bulk density, soil water retention curve, hydraulic saturated conductivity and image analysis. The monitoring of soil moisture “in situ” was obtained by sensors installed in the main horizons of the pits and associated with rainfall data collected from an automatic weather station installed in the area. The results of the evolution over time of the three management systems showed high levels of organic matter, especially in depth from 0.0 to 0.2 m, but showed no tendency to accumulate. These high values of organic matter provide a low soil bulk density and high porosity, resulting in an increased water conductivity of the soil. Each system had hydro-physical attributes with good conditions for cultivation and the soil was not an impediment to the maintenance of these systems in this region, moreover, the use of agroecological management systems is an interesting alternative for the region as a form of conservationist agricultural practices. Regarding the hydro-physical characterization, the three soils under different crop cover, presented, mainly in the surface horizons, high values of organic matter and porosity, being this porosity represented by large complex pores, that are responsible for the high hydraulic conductivity and are crucial in the presence of two regions with contrasting hydraulic properties conferring bimodal behavior of the soil water retention curve. In the comparisons of the modeling data, the Hydrus model was not effective for predicting the moisture values in the studied soils. This data presented simulated moisture values lower for all horizons of the pits in the three areas, when compared with the observed data. However, good results were obtained in predicting runoff volumes, which were not measured in this work, but observed in the field. These results confirm the need for further studies with respect to the prediction of water movements under conditions of heterogeneous cultures, since the input data with respect to vegetation, are difficult to choose, especially in AFS, due to its high diversity of species.

Keywords: Soil water; Dual porosity; Image analysis; Hydraulic conductivity; Agroforestry system; Conventional system; Organic system; Hydrus 1D

1 INTRODUÇÃO

1.1 O Vale do Ribeira e o município de Apiaí

O Vale do Ribeira constitui uma área de 1.711.533 ha e é um dos maiores remanescentes de Mata Atlântica do País, ao mesmo tempo em que se constitui numa das regiões com menor IDH do Estado de São Paulo (ATLAS, 2000), evidenciando a relação histórica de disparidade entre a alta biodiversidade e pobreza.

O Município de Apiaí possui 25.463 habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2007), e se encontra no chamado Alto Ribeira, região que compreende parte da Serra do Mar, com relevo bastante montanhoso e com bastante cobertura vegetal de Mata Atlântica.

O povoamento da região de Apiaí iniciou-se com a descoberta de ouro de aluvião em 1550 no Alto Ribeira e, a partir da descoberta do Morro do Ouro em Apiaí no século XVIII, o povoamento se intensificou, culminando na fundação da vila em 1771. Superada a fase da busca de ouro que durou até meados de 1800, Apiaí passou por um período de estagnação econômica e novas atividades agrícolas foram inseridas. A princípio eram atividades agrícolas de subsistência, em particular, produção de milho, arroz, batata e mandioca. Num segundo momento, foi introduzida a cana-de-açúcar, com produção de cachaça e rapadura e também produção de fumo, erva mate, algodão, derivados de cana-de-açúcar e madeireiros. A produção suína teve grande destaque na região, até que a peste suína dizimou rebanhos e provocou nova estagnação. Na década de 1970, a cultura do tomate tornou-se a principal atividade econômica de Apiaí, paralelamente com a produção de cimento (DIEGUES, 2007).

O Município de Apiaí é o principal produtor de tomate envarado (tomate de mesa) do Estado de São Paulo, abastecendo 13% desse produto no mercado paulista (INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA, 2010), o que evidencia a importância dessa região na produção e comercialização dessa hortaliça.

No Município prevalece a agricultura familiar, realizada em pequenas propriedades, e na sua maioria é uma agricultura baseada no modelo convencional de supressão da vegetação e uso de insumos agrícolas. O tomate é uma das culturas de maior importância no Brasil, que utiliza sistematicamente herbicida e demais agroquímicos para controle de pragas (CARVALHO et al., 2005).

1.2 Histórico do assentamento prof. Luiz David de Macedo

O assentamento PDS (Projeto de Desenvolvimento Sustentável) Prof. Luiz de David Macedo, localizado no município de Apiaí, Bairro da Caximba, foi instalado pelo INCRA, em parceria com diversas instituições entre elas a ESALQ/USP, através do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento de Assentamentos Rurais e Agricultura Familiar (PPDARAF). O papel do programa é desenvolver ações voltadas à pesquisa e prática para o estabelecimento de assentamentos com essas características. A partir do diálogo com movimentos sociais e ambientalistas, o INCRA promoveu a criação de assentamentos tipo PDS, através da Portaria/INCRA/P/Nº477, de 04/11/1999, tendo como objetivo implantar assentamentos rurais com base em sistemas de produção agroecológicas (QUEDA et al., 2009).

Atualmente existem nove assentamentos PDS em São Paulo, sendo que o assentamento Luiz de David Macedo possui mais de 80% de sua área coberta com vegetação natural, fato este que constitui um desafio para sua conservação e manejo sustentável.

O assentamento possui área total de 7.767 hectares, sendo que na década de 70 a vegetação sofreu exploração madeireira e posteriormente ocorreu a criação de búfalos com consequentemente compactação do solo (QUEDA et al., 2009)

1.3 Sistema convencional de plantio

O solo sob vegetação nativa apresenta características físicas adequadas ao desenvolvimento das plantas (ANDREOLA et al., 2000). Entretanto, conforme o solo é submetido ao manejo inadequado e à mudança de uso seus atributos físicos sofrem alterações, geralmente desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal (SPERA et al., 2004).

Durante a implantação das culturas agrícolas, o solo é preparado com o uso de intensa mecanização, principalmente arado e grade, visando propiciar ao solo condições adequadas para o crescimento e desenvolvimento das plantas e utilização de adubos minerais e defensivos de elevada solubilidade, sendo geralmente denominado sistema convencional (FURLANI et al., 2005; PIMENTEL et al., 2005; MORGAN, 2005; ASSIS; LANÇAS, 2010). Esse sistema, onde o solo é regularmente alterado, acelera a decomposição da matéria orgânica e afeta a estrutura do solo, modificando a agregação, porosidade e densidade do solo,

infiltração e retenção de água, a temperatura e umidade do solo além de aumentar as perdas por erosão, e consequentemente a capacidade produtiva das áreas (SHIPITALO et al., 2000; LLANILLO et al., 2006; MOUSSA-MACHRAOUI, 2010).

A estrutura é uma das propriedades mais significativas na produção agrícola, pois é ela quem determina a profundidade das raízes, a quantidade de água disponível e a circulação de ar, água e fauna no solo (PAGLIAI et al., 2004; ZEIGER; FOHRER, 2009). Quando são realizadas modificações na estrutura do solo, causadas por diferentes técnicas de manejo do solo, provocamos alterações importantes nas propriedades hidráulicas do solo, principalmente naquelas relacionadas às propriedades físico-hídricas, como movimento ou estoque de água (JURY et al., 1991). Essas modificações estruturais podem ser facilmente mensuráveis. Sendo assim, as modificações estruturais causadas pelo preparo das áreas podem ser facilmente avaliadas através da mensuração de fatores indicativos da estrutura do solo como densidade, resistência à penetração, condutividade hidráulica, curva de retenção de água, porosidade, dentre outros (ANJOS et al., 1994; KLEIN, 1998; ALBUQUERQUE et al., 2001).

Acredita-se que os sistemas ditos convencionais, com uso de maquinários, fertilizantes e defensivos, são os que causam as maiores modificações estruturais, prejudicando a qualidade do solo (TAVARES-FILHO; TESSIER, 1998; ARGENTON 2000; ALBUQUERQUE et al., 2001).

Neste sentido, visando à melhoria da qualidade do solo a adoção de práticas conservacionistas de manejo de solo vem sendo citada como uma das práticas chave para conservação do solo e de outros recursos naturais.

1.4 Sistemas agroflorestais

A degradação física do solo é de difícil correção e deve ser tratada como uma ameaça à sustentabilidade das áreas agrícolas (SCROTH, 2001). Diversos estudos demonstram a importância dos atributos físicos do solo na avaliação das alterações e degradação da qualidade do solo causada pelo manejo das áreas (SANTANA et al., 2006; MENEZES et al., 2008).

A crescente preocupação mundial com a sustentabilidade ambiental acarretou em uma demanda dos agricultores por práticas sustentáveis de produção, seja esta por causas ambientais ou forçadas pelas imposições do mercado. Aliado a esta demanda surgem estudos e idéias de produção agrícola aliada à preservação

ambiental com a utilização de práticas de manejo menos agressivas que preservem a estrutura do solo, como o sistema de cultivo orgânico, o plantio direto e os sistemas agroflorestais.

O sistema agroflorestal (SAF) é um tipo de uso da terra onde plantas agrícolas são combinadas com espécies arbóreas e arbustivas, na mesma unidade de manejo, ao mesmo tempo ou em sequência (NAIR, 1993; INTERNATIONAL CENTER FOR RESEARCH IN AGROFORESTRY, 1995; SILVA et al., 2011), sendo considerados o sistema de manejo que melhor conserva as condições do solo, que as mantém próximas às condições naturais, uma vez que consorcia várias espécies em uma mesma área, simulando a diversidade encontrada nas áreas naturais. Essas interações entre plantas de diferentes ciclos, portes e funções favorecem a cobertura do solo, a preservação da fauna e flora, a ciclagem de nutrientes e o aporte contínuo e diversificado de matéria orgânica, favorecendo também a melhoria das propriedades físicas, químicas e hídricas do solo (SANCHEZ, 1995; YOUNG, 1997; BREMAN; KESSLER, 1997; ARAÚJO et al., 2001; MENDONÇA; LEITE; FERREIRA NETO, 2001; SÁNCHEZ, 2001; SCHROTH et al., 2002).

Os atributos físicos do solo são indicadores eficientes na avaliação de sua qualidade, distinguindo os efeitos das práticas de manejo conservacionistas das práticas convencionais e contribuem para o monitoramento de um manejo sustentável (SILVA et al., 2011).

A capacidade do SAF em manter ou melhorar as propriedades do solo estão relacionadas à produção da liteira que, além de proteger a superfície do solo, se transformam em matéria orgânica e auxiliam na estruturação e manutenção das propriedades físicas do solo (SZOTT, 1991).

Os solos sob sistema agroflorestal apresentam, em geral, menor densidade, maior porosidade, menor resistência à penetração e maior estabilidade de agregados, quando são comparados com o sistema de plantio convencional (CARVALHO et al., 2004), além de maior permeabilidade à água.

Sendo assim, a implantação de sistemas agroflorestais pode ser uma solução adequada para os agricultores que desejam continuar a utilização de suas áreas agrícolas de maneira sustentável auxiliando na preservação ambiental, uma vez que os SAFs tem importante papel na redução dos impactos negativos causados pelo manejo do solo.

1.5 Sistemas de cultivo orgânico

O cultivo orgânico no Brasil tomou corpo na década de 1990 com o crescimento das organizações ligadas à produção orgânica, crescendo o número de produtores, diversificando a produção em quantidade e qualidade (KHATOUNIAN, 2001).

O sistema orgânico de produção, através de suas práticas e formas de manejo alternativas ao sistema convencional, objetiva a sustentabilidade econômica e ecológica revelando melhor desempenho em termos de qualidade do solo e água (RODRIGUES; CAMPANHOLA, 2003).

Neste tipo de produção não são utilizados produtos químicos sintéticos ou alimentos geneticamente modificados (SAQUET et al., 2010). A adubação nestes sistemas é feita por adubos orgânicos como resíduos de animais e composto que elevam o conteúdo de carbono orgânico e a atividade microbiana, além disso também são utilizados pó de rochas e componentes de cobre, levando a uma melhoria nas propriedades físicas do solo (ALTIERI, 2002; EDMEADES, 2003; PECK et al., 2006; JÖNSSON, 2007; MÜLLER et al., 2011).

A utilização de adubos orgânicos contribui para o aumento dos estoques de matéria orgânica do solo que podem influenciar na agregação do solo atuando como agentes ligantes, juntamente com os minerais de argila, na formação de agregados estáveis (KIEHL, 1979). A matéria orgânica do solo, melhora as propriedades físicas do solo influenciando na estabilidade de agregados, densidade, porosidade, taxa de infiltração de água e retenção da umidade (DE-POLLI et al., 1996; MOSADDEGHI et al., 2009). A adubação orgânica é responsável pela redução da vulnerabilidade do solo à erosão e compactação (MOSADDEGHI et al., 2009).

Apesar da elevada contribuição da adubação orgânica para a estabilidade e conservação do solo, o que percebe-se na literatura é uma vasta quantidade de trabalhos relacionando a adubação orgânica à qualidade química dos solos e uma escassez de pesquisas investigando as modificações físicas ocorridas nos solos quando são implantados sistemas orgânicos de cultivo.

1.6 Micromorfologia

A micromorfologia dos solos, também conhecida como micropedologia, é um modo de análise morfológica, caracterizada pelo detalhamento microscópico, que coleta tipos particulares de dados para construir o estudo da história e dos

processos de desenvolvimento do solo (BREWER, 1972). Através da análise micromorfológica, os elementos da estrutura do solo observado, tais como espaço poroso, distribuição e orientação das fábricas do solo e estruturas associadas, serão classificados. A análise de imagens, quando computadorizadas, permite uma forma de parametrização das observações micromorfológicas (RINGROSE-VOASE, 1991).

A micromorfologia do solo identifica seus constituintes e determina suas relações mútuas, no espaço e no tempo (STOOPS, 2003). Se combinada com outras técnicas de análise de solo, pode-se integrar e sintetizar processos e, por conseguinte, compreender os efeitos da diversidade do solo, englobando os seus diversos níveis de organização (MIEDEMA, 1997), desde o solo como um todo até a microestrutura do solo (CASTRO et al., 2003).

Atualmente, a análise de imagens é usada para determinar o tamanho dos poros e sua distribuição (STOOPS, 2003). Há alguns anos, a análise de imagens tem sido realizada através de lâminas delgadas ou blocos de solo para quantificar a estrutura do espaço poroso, a distribuição dos poros, caracterizar irregularidades, orientação, forma e tamanho dos poros (BOUMA et al., 1977; RINGROSE-VOASE, 1987; PROTZ et al., 1987; BOUABID et al., 1992; RINGROSE-VOASE, 1991; DEEKS et al., 1999).

A estrutura do solo, ou microestrutura, é definida como o tamanho, forma e arranjo das partículas primárias e poros em materiais agregados ou não, ou quaisquer agregados presentes (BULLOCK et al., 1985).

A importância agronômica dos poros é dada devido a sua forma e tamanho. Portanto, sua caracterização se torna essencial. Bullock et. al. (1985) classificaram os poros com relação ao seu tamanho, considerando, para tanto, mesoporos os poros de diâmetros entre 50 e 500 micrômetros e macroporos os que constituem o diâmetro de 500 a 5000 micrômetros. A forma, a disposição e a distribuição dos tamanhos dos poros, então, configura caráter crucial para avaliar as modificações possíveis da estrutura do solo, devido sua utilização. Ringrose-Voase (1991) sugere, ainda, outro sistema de classificação, com base na estrutura dos poros. Segundo ele, os poros estruturais são formados por poros de empacotamento e fissuras e poros não-estruturais são cavidades, canais e vesículas, que podem ocorrer dentro ou através de diversas unidades.

O fluxo de água no solo é determinado pelas propriedades físicas do solo, tais como estrutura e textura. As propriedades do espaço poroso do solo, tais como

quantidade, tamanho, morfologia, continuidade e orientação dos poros, configuram a funcionalidade do sistema poroso (ELLIES et al., 1997) e essas características, que influenciam a condutividade do solo, são reunidas em um termo chamado de “geometria porosa dos solos” (LIBARDI, 1999). Além disso, Lawrence (1977) destaca que o espaço poroso, incluindo a sua distribuição por tamanho, influencia nos fenômenos de armazenamento e movimento de água e gases e na penetração de raízes, o que define a produtividade das plantas.

Uma lâmina delgada apresenta a área dos seus componentes constituintes. Esta área relaciona-se a proporções volumétricas dos componentes, sendo o solo uma massa heterogênea, conforme atribuído a Delesse¹ (1848, apud BULLOCK; THOMASSON, 1979). Dessa maneira, as imagens bidimensionais podem ser relacionadas, então, às três dimensões (RINGROSE-VOASE; BULLOCK, 1984), que podem ser comparadas, por exemplo, a medidas volumétricas, como conteúdo ou retenção de água no solo (BULLOCK; THOMASSON, 1979). O termo poróide foi definido como redes de poros visualizadas em imagens bidimensionais, na medida em que não representam a continuidade entre indivíduos de poros tridimensionais (MORAN et al., 1988).

Vários autores citam que a porosidade constitui um atributo físico indicador da qualidade do solo (SILVA et al., 2011, SANTANA; BAHIA FILHO, 1998; HEIDI, 2011), assim como são utilizadas também para verificar as alterações no solo em função da mudança do manejo (D’ANDRÉA et al., 2002; SANTANA et al., 2006; MENEZES et al., 2008).

Em condições de cultivo mínimos, o solo apresenta um sistema de macroporos mais contínuo, o que pode ser favorecido pelos bioporos contínuos criados pela vegetação perene. Neste sentido, a vegetação nativa, interfere de modo positivo no solo (SALAKO; KIRCHHOF, 2003).

Na medida em que a estrutura do solo é difícil de ser definida ou quantificada (SOUTHORN, 2002), a estimativa da distribuição do tamanho dos poros torna-se um parâmetro importante.

¹ DELESSE, A. Procédé mécanique pour déterminer la composition des roches. **Annales des Mines**, Paris, v. 13, p. 379-388, 1848.

1.7 Dinâmica da água no solo

Os fatores que afetam o comportamento da água no solo é o tamanho das partículas e o modo como elas estão arranjadas. A água, sendo um dos principais fatores de formação dos solos, intervém nos processos de intemperismo e desenvolvimento dos solos (MARSHALL, 1959).

O arranjo espacial das partículas sólidas do solo, ou seja, sua estrutura, define o espaço poral. A caracterização deste permite uma percepção e uma eventual previsão do comportamento hidrodinâmico do solo, tais como suas propriedades de retenção e de circulação de água (CURMI, 1988).

Segundo Reichardt e Timm (2004), o potencial da água no solo representa a diferença da energia do sistema entre o estado da água no solo e um estado padrão. O conhecimento dessa energia é de extrema importância, pois com ela se pode determinar o potencial de movimento de um corpo num determinado meio.

Como qualquer corpo no Universo, a tendência espontânea da água no solo é assumir estados de menor energia potencial, ou seja, o potencial da água no solo define, então, o estado de energia do sistema no ponto considerado (HILLEL, 1980). Pode-se determinar a tendência de movimento da água no solo através da diferença de potencial em diferentes pontos do solo, onde o sentido do movimento ocorre no sentido do maior para o menor estado de energia livre (REICHARDT, 1975).

A infiltração de água no solo é um fenômeno físico que consiste na entrada de água pela superfície para o interior do solo, podendo ser influenciado pelas propriedades intrínsecas do solo e pelo modo como a água atinge sua superfície. Para certos autores, a taxa de infiltração de água no solo é talvez a propriedade que melhor reflete as condições físicas do solo, sua qualidade e estabilidade estrutural.

Durante a infiltração de água no solo, a permeabilidade é controlada pelos poros maiores onde a água não tem a influência da força da capilaridade. Assim, a conectividade da rede de macroporos com a superfície do solo e a rugosidade superficial são dois importantes fatores que controlam a taxa de infiltração (BEVEN; GERMANN, 1982). Embora a macroporosidade represente uma pequena porção da porosidade total do solo, esses vazios de maior tamanho tem um papel importante na condutividade hidráulica principalmente em condições de solo saturado (DUNN; PHILLIPS, 1991).

A condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) corresponde ao volume de um fluido (água) que passa por um corpo sólido (partículas minerais e orgânicas) em um

determinado tempo (LIBARDI, 2000). O valor máximo de condutividade hidráulica é atingido quando o solo se encontra saturado (REICHARDT, 1990). A geometria e a continuidade dos poros preenchidos com água são fatores que influenciam a condutividade hidráulica saturada, caracterizando sua maior dependência da estrutura do que da textura do solo. As práticas culturais que modificam a estrutura do solo influenciam diretamente a condutividade hidráulica saturada (K_{sat}), até mais do que os processos de gênese e formação da estrutura dos solos (MESQUITA; MORAES, 2004).

A importância da continuidade dos macroporos para o fluxo de água na saturação pode ser verificada com os elevados valores de K_{sat} em altos valores de densidade do solo. Este fato se contrapõe ao que se entende sobre a influência da densidade do solo na natureza do sistema estrutural dos poros. De acordo com Mesquita e Moraes (2004), nas camadas superficiais, geralmente, há maior variação na densidade do solo devido ao manejo, o que pode propiciar a formação de poros com diâmetros maiores, os quais permitem maiores valores de condutividade hidráulica saturada, porém, estes poros podem não influenciar muito a densidade do solo.

A macroporosidade do solo pode aumentar a taxa de infiltração de água, principalmente através da atividade biológica (SILVA, 2000). A extração de água do solo pelas raízes das plantas depende da retenção e infiltração de água no solo (JONG VAN LIER, 1994).

A retenção de água no solo pode ser influenciada significativamente pela profundidade do solo, textura e também conteúdo de matéria orgânica (WALL; HEISKANEN, 2003). De modo geral, na camada mais superficial do solo é onde se encontram a maior porosidade total e mais água é retida ou absorvida, diminuindo à medida que se desce no perfil. A retenção de água no solo, por exemplo, é necessária para se estimar o movimento da água pelo perfil de um solo (CHERTKOV, 2004; PAULETTO et al., 1988).

A água afeta direta e indiretamente o crescimento das raízes no solo, já que algumas das propriedades físicas do solo, como por exemplo, estrutura, resistência e expansão, estão sujeitas às relações entre solo e água (MARSHALL, 1959). A disponibilidade de água no solo é um dos fatores de maior importância para o crescimento das plantas; portanto, a dinâmica solo-floresta, ou vice-versa, pode ser estudada através do movimento de água pelo perfil do solo (GUEHL, 1984).

A estrutura do solo é afetada pelo manejo contínuo, e isto pode ser evitado utilizando-se práticas conservacionistas, o que pode, por exemplo, aumentar a retenção de água no solo (KLEIN; LIBARDI, 1998). Os atributos físico-hídricos têm suas características naturais modificadas para estados que favorecem ou desfavorecem os cultivos, e sobretudo levando à formação de camadas diferenciadas ao longo do perfil do solo (MARIA et al., 1999; KLEIN; LIBARDI, 2000; TORMENA et al., 2004). As operações de preparo do solo alteram a dinâmica natural dos atributos físico-hídricos, não só pelo seu efeito sobre a estrutura (KLEIN; LIBARDI, 2000, 2002; OTTONI FILHO, 2003), mas também pela manutenção dos resíduos na superfície que podem minimizar as perdas de água por evaporação (PRIMAVESI et al., 2004).

1.8 Dupla porosidade

A estrutura do solo é importante tanto na retenção quanto no movimento de água no solo. A retenção é influenciada por atributos intrínsecos ao solo como textura, estrutura e conteúdo de carbono orgânico (GIAROLA et al., 2002; DEXTER et al., 2004; SEVERIANO et al., 2010) e é decorrente da capilaridade, sendo, portanto, fortemente alterada pelo arranjo de partículas do solo, devido à presença de poros estruturais.

O movimento da água no solo é parte importante do ciclo hidrológico (MA; SHAO, 2008) e está relacionado com as propriedades hidráulicas do solo, que por sua vez são ligadas à estrutura do mesmo (SANTOS et al., 2011).

A descrição da dinâmica da água no solo é realizada através da confecção de curvas de retenção de água no solo (van GENUCHTEN, 1980; DEXTER; BIRD, 2001), que é a descrição da relação entre energia de retenção de água no solo e o conteúdo de água correspondente, resultando da ação conjunta dos atributos do solo como textura, estrutura, mineralogia e conteúdo de matéria orgânica (BEUTLER et al., 2002; CARDUCCI et al., 2011). Os principais fatores que interferem na forma das curvas de retenção de água no solo são a distribuição dos macro e microporos e mineralogia das partículas (MIGUEL et al., 2006).

Solos com características estruturais heterogêneas são caracterizados pela existência de duas regiões com porosidades distintas e propriedades hidráulicas contrastantes, sendo denominados meios de porosidade bimodal (LEWANDOWSKA et al., 2008). Devido ao comportamento hídrico contrastante entre as diferentes

regiões estes solos não podem ser descritos pelo método clássico de porosidade única (RICHARDS, 1931), mas sim com ajuda de modelos de porosidade bimodal, os quais consideram as duas regiões, uma associada aos macroporos, portanto mais ligada à estrutura do solo e a outra menos permeável, associada à textura do solo (GERKE; van GENUCHTEN, 1993).

Em razão disto, algumas modelagens que identificam esse comportamento bimodal são propostas para quantificar as classes de poros por meio de dois pontos de máximo, obtidos pela derivação da curva de retenção de água (DURNER, 1994; DEXTER et al., 2008; ALFARO SOTO et al., 2008) e, consequentemente, dois pontos de inflexão (CARDUCCI et al., 2011).

A construção das curvas de retenção de água no solo são realizadas com ajuda de um ajuste para relacionar a energia de retenção com a disponibilidade hídrica (DEXTER, 2004). Para os modelos bimodais esse ajuste deve ser feito com o modelo duplo van Genuchten que apresenta, em média um coeficiente de determinação (R^2) acima de 99% (CARDUCCI et al., 2011).

1.9 Modelagem utilizando Hydrus 1D

O solo pode ser entendido como um reservatório de água, cujo volume armazenado pode ser bastante variável ao longo do tempo, e depende de diversos fatores, tais como atributos do solo, fatores climáticos e de manejo do solo (REICHARDT; BACCHI, 2004). Considerando a existência de uma cobertura vegetal sobre o solo, a água da chuva é primeiramente interceptada pelo dossel ou, então, atinge diretamente a superfície do solo. Parte da água que atinge a superfície do solo é infiltrada e parte pode escoar superficialmente. Dependendo da direção do escoamento desta água, ela será contabilizada como entrada ou saída do sistema.

Pela lei de conservação das massas, onde são computadas as entradas e saídas de água no sistema, podemos contabilizar a variação de umidade dentro do perfil de um solo. As principais entradas de água no sistema são a precipitação e/ou irrigação, e pode haver, também, um fluxo ascendente de água no solo. As principais saídas da água do sistema são o deflúvio superficial (“run-off”) e a descida da água no perfil do solo, que abastece os lençóis freáticos (BRADY, 1983). Além dessas perdas, a água pode ser evaporada pela superfície do solo ou ser retirada do solo pelas raízes e transpirada pelas folhas do dossel. A soma da evaporação mais a transpiração é a evapotranspiração. No ciclo hidrológico, a evapotranspiração tem

papel fundamental, fazendo com que retorne para a atmosfera entre 60 a 80% da precipitação (TATEISH, 1996).

Existe uma complexidade em agrupar a água líquida, o vapor d'água e o transporte de calor na zona não-saturada e, ainda há, dificuldades associadas com as medidas em campo, especialmente próximas à superfície do solo. Isso ressalta a necessidade e importância de modelos numéricos para que seja possível a análise desses processos. Apesar do aumento do desenvolvimento de modelos numéricos, a informação sobre o movimento da água líquida, vapor d'água e calor sob condições de campo é ainda limitado, especialmente sob solos aráveis (DEB et al., 2010).

Perante as atividades dos agricultores, atualmente, é necessário estabelecer políticas que permitam minimizar os riscos inerentes ao uso da água. Tais políticas devem ser baseadas no entendimento das leis que regem o movimento da água na região saturada e insaturada no solo, assumindo-se a utilização de modelos matemáticos como uma ferramenta indispensável na previsão da qualidade da água dos aquíferos, na implementação de melhores práticas de irrigação e no uso racional dos corpos d'água (GONÇALVES et al., 2007).

Um modelo matemático é uma interpretação simplificada da realidade, ou ainda, uma interpretação de um fragmento de um sistema, segundo uma estrutura de conceitos experimentais. É utilizado para entender processos que envolvam a realidade, sendo, portanto, uma ferramenta útil. Podem ser aplicados para definir quanto e quando se deve providenciar determinadas etapas de manejo, como por exemplo, a irrigação que, permite racionalizar a operação tornando-a mais eficiente em seus vários aspectos (TUCCI, 1987; CORRÊA et al., 2006).

Uma das aplicações dos modelos matemáticos é em estudos ambientais, visto que auxiliam no entendimento dos efeitos das mudanças no uso do solo, podendo prever alterações nos ecossistemas (HILLEL, 1998). Como os modelos matemáticos estão aliados a métodos numéricos, tem influenciado positivamente, permitindo, dessa forma, melhor entendimento dos processos naturais que governam o transporte de água no solo, bem como previsão de eventos (SAGARDOY, 1993; WAGENET; HUTSON, 1994; van DAN et al., 1997).

O modelo matemático HYDRUS-1D (ŠIMŮNEK et al., 1998) é utilizado para simular unidimensionalmente os fluxos de água, movimento de calor e transporte de solutos em meio saturado variável. É um dos mais usados atualmente para a

simulação do movimento da água em meios variáveis porosos saturados (ZLONIK et al., 2007; SINGH et al., 2011). Nesse modelo, a variabilidade para os fluxos de água saturados é simulada pela equação de Richards (Eq. 01):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\theta) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right] \quad (1)$$

onde, θ é o conteúdo volumétrico de água, h é o potencial mátrico, K é a condutividade hidráulica, z , é o eixo vertical superior, t é tempo. Para fluxos não-saturados, as funções hidráulicas do solo são descritas usando os parâmetros de van Genuchten (van GENUCHTEN, 1980) (Eq. 02):

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{1}{[1 + (\alpha|h|)^n]^m} \quad (2)$$

A equação Genuchten-Mualem também é usada para calcular a condutividade hidráulica não-saturada em termos dos parâmetros da retenção de água no solo (REICHARDT, 1996) (Eq. 03):

$$K = K_{sat} \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^l \left\{ 1 - \left[1 - \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^{\frac{1}{m}} \right]^m \right\}^2 \quad (3)$$

São usadas como as relações constitutivas, onde, θ_s é o conteúdo saturado de água, θ_r é o conteúdo de água residual, K_{sat} é a condutividade hidráulica saturada, m e n são parâmetros empíricos da equação.

O modelo incorpora o termo sumidouro para considerar a absorção de água pelas plantas. Essa equação é resolvida numericamente usando métodos de elementos finitos via Galerkin. O Hydrus usa uma forma modificada da equação de Richard para descrever o movimento unidimensional da água na zona não saturada (Eq. 04):

$$\frac{\partial \theta(h)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K(h) \left(\frac{\partial h}{\partial x} + 1 \right) \right] - s \quad (4)$$

no qual, h é potencial da água (L), θ é o conteúdo volumétrico de água ($L^3 L^{-3}$), t é o tempo (T), x é a coordenada espacial (L), S é o termo sumidouro definido como volume de água removido de uma unidade de volume de solo por unidade de tempo devido a absorção de água pela planta ($L^3 L^{-3} T^{-1}$), e K é a condutividade hidráulica não-saturada (LT^{-1}).

Para as funções hidráulicas do solo, o Hydrus programa um procedimento de escalonamento concebido para simplificar a descrição da variabilidade espacial das propriedades hidráulicas do solo não-saturado no domínio do fluxo. O código assume que, a variabilidade nas propriedades hidráulicas de um perfil do solo pode ser aproximada por meio de um conjunto de transformações de escala lineares, que relacionam as características hidráulicas do solo $\theta(h)$ e $K(h)$ das camadas individuais do solo para características de referência $\theta^*(h^*)$ e $K^*(h^*)$ (ŠIMŮNEK et al., 2008).

Os estudos que predizem o transporte de água e solutos em meio não-saturados, em condições heterogêneas e considerando culturas, não são ainda satisfatórios (CORRÊA et al., 2006). Devido isto, continuam os estudos que usam tanto a modelagem matemática, como a medição por equipamentos dos eventos naturais, para que algum dia se possa conhecer mais profundamente esse campo de pesquisa.

Nesse sentido, os objetivos propostos com este estudo foram:

- Avaliar o efeito de cada diferente sistema de manejo (convencional, orgânico e agroflorestal) na evolução dos atributos físico-hídricos do solo ao longo do tempo na região do Vale do Ribeira.
- Caracterizar a morfologia e o funcionamento físico-hídrico de 3 tipos de cobertura vegetal (Agricultura orgânica, Sistemas Agroflorestais e Capoeira) no município de Apiaí.
- Avaliar o modelo Hydrus 1D a partir da comparação da umidade do solo obtidos através de medições in situ em três coberturas vegetais distintas no município de Apiaí – SP.
- Avaliar a capacidade preditora do modelo Hydrus 1D com relação à formação de runoff nos solos dos três tipos de cobertura vegetal com altos valores de condutividade hidráulica.

As hipóteses testadas no presente trabalho é a de que

- Os sistemas agroecológicos (sistemas agroflorestais e orgânicos) apresentarão melhores resultados para os atributos físicos e hídricos do solo ao longo do tempo.
- A morfologia e os atributos físico-hídricos são importantes no entendimento do funcionamento físico-hídrico dos solos cultivados com sistemas de manejo alternativos.
- O modelo Hydrus 1D é capaz de reproduzir os resultados de umidade do solo obtidos no campo com sensores de umidade.
- O modelo Hydrus 1D é capaz de prever baixa produção de runoff para os três tipos de cobertura vegetal com altos valores de condutividade hidráulica.

Referências

- ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do Milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 717-723, 2001.
- ALFARO SOTO, M.A.; KIANG, C.H.; VILAR, O.M. Avaliação do escalonamento fractal de alguns solos brasileiros. **Revista Brasileira de Geociências**, Curitiba, v. 38, p. 253-262, jun. 2008.
- ALLEN, S.C.; NAIR, V.D.; GRAETZ, D.A.; JOSE, S.; NAIR, P.K.R. Phosphorus loss from organic versus inorganic fertilizers used in alley cropping on a Florida Ultisol. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 117, p. 290–298, 2006.
- ALTIERI, M. **Agroecologia**: bases científicas para a agricultura sustentável. Guaíba: Agropecuária, 2002. 592 p.
- ALVES, H.P.F. **Análise dos fatores associados às mudanças na cobertura da terra no Vale do Ribeira através da integração de dados censitários e de sensoriamento remoto**. Campinas: Unicamp, 2004. 127 p.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; OLSZEWSKY, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 857-865, 2000.
- ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTTO, V.J.; LEITE, G.B.; KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, n. 1, p. 139-145, jan./abr. 1994.
- ARAÚJO, G.G.L.; ALBUQUERQUE, S.G.; GUIMARÃES FILHO, C. Opções no uso de forrageiras arbustivo-arbóreas na alimentação animal no semiárido do nordeste. In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; CARNEIRO, J.C. (Ed.). **Sistemas**

agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais. Juiz de Fora: EMBRAPA Gado e Leite; Brasília: FAO, 2001. p. 111-137.

ARGENTON, J. **Propriedades físicas do solo em dois sistemas de cultivo com plantas de cobertura de verão intercalares à cultura do milho.** 2000. 97 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2000.

ASSIS, R.L.; LANÇAS, K.P. Agregação de um Nitossolo vermelho distroférrico sob sistemas de plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1 p. 58-66, jan./fev. 2010.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SOUZA, Z.M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C.G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 829-834, 2002.

BEVEN, K.; GERMANN, P. Macropore and water flow in soil. **Water Resources Research**, Washington, v. 18, n. 5, p. 1311-1325, 1982.

BOUABID, R.; NATER, E.A.; BARAK, P. Measurements of pore size distribution in a lamellar Bt horizon using epifluorescence microscopy and image analysis. **Geoderma**, Amsterdam, v. 53, p. 309-328, 1992.

BOUMA, J.; JONGERIUS, A.; BOERSMA, O.; JAGER, A.; SHOONDERBEEK, D. The function of different types of macropores during saturates flow through four swelling soil horizons. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 41, p. 945-950, 1977.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos.** Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1983. 647 p.

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

BREWER, R. The basis of interpretation of soil micromorphological data. **Geoderma**, Amsterdam, v. 8, p. 81-94, 1972.

BULLOCK, P.; THOMASSON, A.J. Rothamsted studies of soil structure. II. Measurement and characterization of macroporosity by image analysis and comparison with data from water retention measurements. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 30, p. 391-413, 1979.

BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T. **Handbook for soil thin sections description.** Wolverhampton: Waine Research Publ., 1985. 153 p.

CARDUCCI, C.E.; OLIVEIRA, G.C.; SEVERIANO, E.C.; ZEVIANI, W.M. Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a equação duplo van

Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 77-86, 2011.

CARVALHO, L.A.; TESSARIOLI NETO, J.; ARRUDA, M.C.; JACOMINO, A.P.; MELO, P.C.T. Caracterização físico-química de híbridos de tomate de crescimento indeterminado em função do espaçamento e número de ramos por planta. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 11, n. 3, p. 295-298, 2005.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W.J.; ARMANDO, M.S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1153-1155, 2004.

CASTRO, S.S.; COOPER, M.; SANTOS, M.C.; VIDAL-TORRADO, P. **Micromorfologia do solo: bases e aplicações**. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: UFV, 2003. v. 3, p. 107-164.

CHERTKOV, V.Y. A physically based model for the water retention curve of clay pastes. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 286, p. 203-226, 2004.

CORRÊA, M.M.; MARTINEZ, M.A.; COSTA, L.C.; RUIZ, H.A.; CORRÊA, M.M.; SAMPAIO, S.C. Modelo numérico do transporte de água e soluto no solo: I - simulação da distribuição de umidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 17-23, jan./mar. 2006.

CURMI, P. Relação entre o espaço poral do solo e seu funcionamento hídrico. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; FREITAS, S.S. (Coord.). **Responsabilidade social da ciência do solo: e os simpósios Microbiologia do solo: só simbioses? e A importância do conhecimento da cobertura pedológica: a análise estrutural**. Campinas: SBCS, 1988. p. 447-454.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no Sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 913-923, 2002.

DAVID, S.; RAUSSEN, T. The agronomic and economic potential of tree fallows on scoured terrace benches in the humid highlands of Southwestern Uganda. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 95, p. 359-369, 2003.

DEEKS, L.K.; WILLIAMS, A.G.; DOWD, J.F.; SHOLEFIELD, D. Quantification of pore size distribution and the movement of solutes through isolated soil blocks. **Geoderma**, Amsterdam, v. 90, p. 65-86, 1999.

DEB, S. K.; SHUKLA, M. K.; SHARMA, P. Numerical analysis of coupled liquid water, water vapor, and heat transport in a sandy loam soil. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 19., 2010, Brisbane. **Soil solutions for a changing world: proceedings...** Brisbane: International Union of Soil Science, 2010. p. 121-124.

DE-POLLI, H.; FRANCO, A.A. **Inoculação de leguminosas**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, UAPNPBS, 1985. 31p. (EMBRAPA. UAPNPBS. Circular Técnica, 1)

DEXTER, A.R. Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 201-214, 2004.

DEXTER, A.R.; BIRD, N.R.A. Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 57, p. 203-212, 2001.

DEXTER, A.R.; CZYŻ, E.A.; RICHARD, G.; RESZKOWSKA, A. A user-friendly water retention function that takes account of the textural and structural pore spaces in soil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 143, p. 243-253, 2008.

DIEGUES, A.C. **O Vale do Ribeira e litoral de São Paulo: meio-ambiente, história e população**. São Paulo: CENPEC, 2007. v. 1. Disponível em: <<http://www.usp.br/nupaub/cenpec.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2009.

DUNN, G.H.; PHILLIPS, R.E. Macroporosity of a well-drained soil under no-till and conventional tillage. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 55, p. 817-823, 1991.

DURNER, W. Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure. **Water Resources Research**, Washington, v. 30, p. 211-233, 1994.

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

ELLIES, A.; GREZ, R.; RAMIREZ, C. La conductividad hidráulica en fase saturada como herramienta para el diagnostico de la estructura del suelo. **Agro Sur**, Valdivia, v. 5, p. 51-56, 1997.

FURLANI, C.E.A.; LOPES, A.; SILVA, R.P. Avaliação de semeadora-adubadora de precisão trabalhando em três sistemas de preparo do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p.458-464, maio/ago. 2005.

van GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

GERKE, H.H.; van GENUCHTEN, M.T. A dual-porosity model for simulating the preferential movement of water and solutes in structured porous media. **Water Resources Research**, Washington, v. 29, p. 305-319, 1993.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P.; IMHOFF, S. Relações entre propriedades físicas e características de solos da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 885-893, 2002.

GONÇALVES, M.C.; RAMOS, T.B.; ŠIMUNEK, J.; NEVES, M.J.; MARTINS, J.C.; PIRES, F.P.; LEITÃO, P. Modelação da dinâmica da água e dos sais num Aluvissoilo regado com águas de diferente qualidade: ensaio de validação do modelo HYDRUS-

1D com observações em monólitos. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 30, n. 2., p. 38-52, jul. 2007.

GUEHL, J.M. Dynamique de l'eau dans le sol em forêt tropicale humide guyanaise. Influence de la couverture pédologique. **Annales des Sciences Forestieres**, Nancy, v. 41, n. 2, p. 195-236, 1984.

HEID, D.M. **Sustentabilidade de sistemas de uso da terra em Mato Grosso do Sul**. 2011. 107 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2011.

HILLEL, D. Soil dynamics: stress, strain and strength. In: HILLEL, D. (Ed.). **Environmental soil physics**. New York: Academic Press, 1998. p. 341-382.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. Toronto: Academic Press, 1980. 413 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico de 2007**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 25 ago. 2009.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. Disponível em: <http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/subjetiva.aspx?cod_sis=1&idioma=1>. Acesso em: 29 nov. 2011.

INTERNATIONAL CENTER FOR RESEARCH IN AGROFORESTRY. **Agroforestry at the service of farmers and the environment**: annual. Nairobi, 1995. 239 p.

JONG VAL LIER, Q. de. **Extração da água do solo por plantas**: desenvolvimento e validação de um modelo. 1994. 96 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

JÖNSSON, Å.H. **Organic apple production in Sweden**: cultivation and cultivars. 2007. 33 p. Thesis (Ph.D.) - Swedish University of Agricultural Sciences, Balsgård, 2007.

JURY, W.; GARDNER, W.R.; GARDNER, W.H. **Soil physics**. New York: John Wiley, 1991. 328 p.

KHATOUNIAN, C.A. **A reconstrução ecológica da agricultura**. Botucatu: Agroecológica, 2001. 345 p.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**: relações solo-planta. São Paulo: Ceres, 1979. 262 p.

KLEIN, V.A. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. 1998. 150 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Armazenamento de água no solo e resistência à penetração. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO

E DA ÁGUA, 12., 1998, Fortaleza-CE. **Resumos expandidos...** Campinas: SBCS; Fortaleza: UFC, 1998. p. 163-164.

_____. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um latossolo roxo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n.6, p. 959-964, 2000.

_____. Condutividade hidráulica de um latossolo roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 945-953, 2002.

LAWRENCE, G.P. Measurement of pore sizes in fine-textures soils: a review of existing techniques. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 28, p. 527-540, 1977.

LEWANDOWSKA, J.; NGOC, T.D.T.; VAUCLIN, M.; BERTIN, H. Water drainage in double-porosity soils: experiments and micro-macro modeling. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, Reston, v. 134, n. 2, p. 231-243, 2008.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. 2. ed. Piracicaba: O autor, 1999. 497 p.

_____. **Dinâmica da água no solo**. 2. ed. Piracicaba: O autor, 2000. 509 p.

LLANILLO, R.F.; RICHART, A.; TAVERES FILHO, J.; GUIMARÃES, M.F.; FERREIRA, R.R.M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, p. 205-220, 2006.

MA, D.; SHAO, M.. Simulating infiltration into stony soils with a dual-porosity model. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 59, p. 950-959, 2008.

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**, Viçosa, v. 23, p. 703-709, 1999.

MARSHALL, T.J. **Relations between water and soil**. Farnham Royal: CAB International, 1959. 91 p. (Technical Communication, 50).

MENDONÇA, E.S.; LEITE, L.F.C.; FERREIRA NETO, P.S. Cultivo de café em sistema agroflorestal: uma opção para recuperação de solos degradados. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 375-383, maio/jun. 2001.

MENEZES, J.M.T.; VAN LEEUWEN, J.; VALERI, S.V.; CRUZ, M.C.P.; LEANDRO, R.C. Comparação entre solos sob uso agroflorestal e em florestas remanescentes adjacentes, no norte de Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 893-898, mar./abr. 2008.

MESQUITA, M.G.B.F.; MORAES, S.O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 963-969, 2004.

MIEDEMA, R. Application of micromorphology of relevance to agronomy. **Advances in Agronomy**, New York, v. 59, p. 119-169, 1997.

MIGUEL, M.G.; TEIXEIRA, R.S.; PADILHA, A.C.C. Curvas características de sucção do solo laterítico da região de Londrina/PR. **Revista de Ciência & Tecnologia**, Campinas, v. 12, n. 24, p. 63-74, 2006.

MORAN, C.J.; KOPPI, A.J.; MURPHY, B.W.; McBRATNEY, A.B. Comparison of the macropore structure of a sandy loam surface soil horizon subjected to two tillage treatments. **Soil and Use Management**, Wallingford, v. 4, n. 3, p. 96-102, Sept. 1988.

MORGAN, R.P.C. **Soil erosion & conservation**. Madison: Blackwell, 2005. 304 p.

MOSADDEGHI, M.R.; MAHBOUBI, A.A.; SAFADOUST, A. Short-term effects of tillage and manure on some soil physical properties and maize root growth in a sandy loam soil in western Iran. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 104, p. 173-179, 2009.

MOUSSA-MACHRAOUI, S.B.; ERROUISSI, F.; BEM-HAMMOUDA, M.; NOUIRA, S. Comparative effects of conventional and no-tillage management on some soil properties under Mediterranean semi-arid conditions in northwestern Tunisia. **Soil Tillage & Research**, Amsterdam, v. 106, p. 247-253, 2010.

MÜLLER, J.; LEVIEN, R.; TREIN, C.R.; SEQUINATTO, L.; MAZURANA, M.; STÜRMER, S.L.K.; PIETRZACKA, R. Atributos físicos e químicos de um Argissolo Vermelho, em pomar orgânico de citros com manejo da vegetação nas entrelinhas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 1127-1134, 2011.

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

NAIR, V.D.; NAIR, P.K.R.; KALMBACHER, R.S.; EZENWA, I.V. Reducing nutrient loss from farms through silvopastoral practices in coarse-textured soils of Florida, USA. **Ecology Engineering**, Amsterdam, v. 29, p. 192-199, 2007.

OTTONI FILHO, T.B. Uma classificação físico-hídrica dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 211-222, 2003.

PAGLIAI, M.; VIGNOZZI, N.; PELLEGRINI, S. Soil structure and the effect of management practices. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 79, p. 131-143, 2004.

PAULETTO, E.A.; LIBARDI, P.L.; MANFRON, P.A.; MORAES, S.O. Determinação da condutividade hidráulica de solos a partir da curva de retenção de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, n. 3, p. 189-195, 1988.

PECK, G.M.; ANDREWS, P.K.; REGANOLD, J.P.; FELLMAN, J.K. Apple orchard productivity and fruit quality under organic, conventional, and integrated management. **HortScience**, Alexandria, v. 41, p. 99-107, 2006.

PIMENTEL, D.; HEPPELY, P.; HANSON J.; DOUDS D.; SEIDEL R. Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. **Bioscience**, Paris, v. 55, p. 573-582, 2005.

PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CANTARELLA, H.; GODOY, R. Resposta da aveia branca à adubação em latossolo vermelho-amarelo em dois sistemas de plantio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 79-86, 2004.

PROTZ, R.; SHIPITALO, M.J.; MERMUT, A.R.; FOX, C.A. Image analysis of soils: present and future. **Geoderma**, Amsterdam, v. 40, p. 115-125, 1987.

QUEDA, O.; KAGEYAMA, P.Y.; SANTOS, J.D. Assentamentos rurais: alternativas frente ao agronegócio. **Retratos de Assentamentos**, Araraquara, v. 1, p. 47-68, 2009.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 3. ed. Piracicaba: ESALQ; Cargill, 1975. 286 p.

_____. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Monole, 1990. 188 p.

REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S. Isotopes in soil and plant investigation. In: HILLEL, D. (Ed.). **Encyclopedia of soils and the environment**. Amsterdam: Elsevier, 2004. v. 1, p. 280-284.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Manole, 2004. 478 p.

RICHARDS, L. Capillary conduction of liquids through porous medium. **Physics**, New York, v. 1, p. 318-333, 1931.

RINGROSE-VOASE, A.J. A scheme for the quantitative description of soil macrostructure by image analysis. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 38, p. 343-356, 1987.

_____. Micromorphology of soil structure: description, quantification, application. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 29, p. 777-813, 1991.

RINGROSE-VOASE, A.J.; BULLOCK, P. The automatic recognition and measurement of soil pore types by image analysis and computer programs. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 35, p. 673-684, 1984.

RODRIGUES, G.S.; CAMPANHOLA, C. Sistema integrado de avaliação de impacto ambiental aplicado a atividades do Novo Rural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 445-451, 2003.

SALAKO, F.K.; KIRCHHOF, G. Field hydraulic properties of an Alfisol under various fallow systems in southwestern Nigeria. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 19, n. 4, p. 340-346, 2003.

SÁNCHEZ, 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: EMBRAPA Gado e Leite; Brasília: FAO, 2001. p. 9-17.

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

SANTANA, D.F.; BAHIA-FILHO, A.F.C. Soil quality and agricultural sustainability in the Brazilian Cerrado. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 16., 1998, Montpellier. **Proceedings...** Montpellier: ISSS, 1998. 1 CD-ROM.

SANTANA, M.B.; SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; FONTES, L.E.F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 1-12, jan./fev. 2006.

SANTOS, G.G.; SILVA, E.M.; MARCHÃO, R.L.; SILVEIRA, P.M.; BRUAND, A.; JAMES, F.; BECQUER, T. Analysis of physical quality of soil using the water retention curve: validity of the S-index. **Comptes Rendus Geoscience**, Cedex, v. 343, p. 295-301, 2011.

SAQUET, M.A.; SOUZA, P.; SANTOS, R.A. Agricultura familiar agroecológica em Itapejara D'Oeste – PR. **Revista da ANPEGE**, Uberlândia, v. 6, p. 43-57, 2010.

SAGARDOY, J.A. Una visión global de la contaminación del agua por la agricultura. In: FAO. **Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines**. Santiago, 1993. p.19-26.

SCHROTH, G.; LEHMANN, J.; RODRIGUES, M.R.L.; BARROS, E.; MACÊDO, J.L.V. Plant-soil interactions in multistrata agroforestry in the humid tropics. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 53, p. 85-102, 2001.

SEVERIANO, E.C. **Alterações estruturais de Latossolos representativos da região do cerrado e potencial de uso de solos cultivados com cana-de-açúcar**. 2010. 148 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SHIPITALO, M.J.; DICK, W.A.; EDWARDS, W.M. Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals. **Soil Tillage & Research**, Amsterdam, v. 53, p. 167–183, 2000.

SILVA, D.C. da; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; OLIVEIRAS, A.H.; SOUZA, F.S. de; MARTINS, S.G.; MACEDO, R.L.G. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. **Revista de estudos ambientais**, Blumenau, v. 13, n. 1, p. 77-86, 2011.

SILVA, E.B. da. **Movimento de solutos e caracterização hidráulica de um solo por meio do permeâmetro a disco**. 2000. 107 p. Tese (Doutorado em Física do Solo) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

ŠIMŮNEK, J.; ŠEJNA, M.; SAITO, H.; SAKAI, M.; van GENUCHTEN, M.T. **The HYDRUS-1D**: software package for simulating the movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media; version 4.08. Riverside: University of California, Department of Environmental Sciences, 2008. 330 p. (HYDRUS Software Series, 3).

SINGHA, J.; MOHTARB, R.; BRAUDEAUC, E.; HEATHMEND, G.; JESIEKB, J.; SINGHA, D. Field evaluation of the pedostructure-based model (Kamel®). **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, 2012. In press.

SOUTHORN, N.J. The soil structure component of soil quality under alternate grazing management strategies. In: PAGLIAI, M.; JONES, R.J A. (Ed). **Sustainable and management – environmental protection**: a soil physical approach. Reiskirchen: Catena Verlag, 2002. p. 71-82. (Advances in GeoEcology, 35)

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Efeito de pastagens de inverno e de verão em características físicas de solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, p. 1193-1200, 2006.

STOOPS, G. **Guidelines for analysis and description of soil regolith thin sections**. Madison: Soil Science Society of America, 2003. 184 p. + 1 CD-ROM.

SZOTT, L.T.; FERNANDES, E.C.M.; SANCHEZ, P.A. Soil-plant interactions in agroforestry systems. **Forest, Ecology and Management**, Amsterdam, v. 45, p. 127-152, 1991.

TATEISH, R.A.C.H. Mapping evapotranspiration and water balance for global land surfaces. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, Amsterdam, v. 51, p. 209–215, 1996.

TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Influence des pratiques culturales sur Le comportement et les propriétés de sols du Paraná (Brésil). **Étude et Gestion des Sols**, Ardon, v. 5, p. 61- 71, 1998.

TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S.; FIDALSKI, 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**, Viçosa, v. 28, p. 1023-1031, 2004.

TUCCI, C.E.M. Modelos determinísticos. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS. **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel; ABRH, 1987. p. 211-324.

VELDE, M. van der; GREEN, S.R.; GEE, G.W.; VANCLOOSTER, M.; CLOTHIER, B.E. Evaluation of drainage from passive suction and nonsuction fluxmeters in a volcanic clay soil under tropical conditions, **Vadose Zone Journal**, Madison, v. 4, p. 1201–1209, 2005.

WAGENET, R.J.; HUTSON, J.L. Computer simulation models as an aid in estimating the probability of pesticide leaching, In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER IN AGRICULTURE, 5., 1994, Orlando. **Proceedings...** Orlando: ASAE, 1994. p. 786-794.

WALL, A.; HEISKANEN, J. Water-retention characteristics and related physical properties of soil afforested agricultural land in Finland. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 186, p. 21-32, 2003.

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

ZEIGER, M.; FOHRER, N.. Impact f organic farming systems on runoff formation processes: a long-term sequential rainfall experiment. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 102, p. 45-54, 2009.

ZLOTNIK, V.A.; WANG, T.; NIEBER, J.L.; SIMUNEK, J.A. Verification of numerical solutions of the Richards equation using a traveling wave solution, **Advances in Water Resources**, Oxford, v. 30, p. 1973-1980, 2007.

2 EVOLUÇÃO TEMPORAL DO COMPORTAMENTO FÍSICO HÍDRICO DO SOLO NOS DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

Resumo

Este estudo avaliou o efeito de diferentes sistemas de manejo (Orgânico, Agroflorestal e Convencional) na evolução dos atributos físico-hídricos do solo em propriedades localizadas no município de Apiaí – SP. A avaliação da evolução ao longo do tempo (seis a vinte e quatro meses dependendo do tratamento) dos atributos físico-hídricos do solo foi realizada através do monitoramento da densidade do solo, porosidade calculada, porosidade por análise de imagens, condutividade hidráulica e do conteúdo de matéria orgânica. Os resultados deste projeto mostram que os três sistemas de manejo estudados ao longo do tempo apresentaram altos valores de matéria orgânica, principalmente na profundidade de 0,0 – 0,2 m, porém, não demonstraram tendência de acúmulo. Estes altos valores de matéria orgânica proporcionam ao solo baixa densidade e altos valores de porosidade resultando em maior condutividade de água no solo. A análise de imagem identificou os poros complexos de tamanho grande, como os principais poros responsáveis pela elevada porosidade e condutividade hidráulica dos solos estudados. Cada sistema apresentou atributos físicos e hídricos com boas condições para o cultivo, não sendo o solo um impedimento para a manutenção destes sistemas nesta região. Além disso, o uso de sistemas de manejo agroecológicos é uma alternativa interessante para a região do vale do Ribeira como forma de prática agrícola conservacionista.

Palavras-chave: Sistema agroflorestal; Sistema convencional; Sistema orgânico; Análise de imagens; Condutividade hidráulica

Abstract

This study evaluated the effect of different management systems (organic, agroforestry and conventional) in the evolution of soil hydro-physical attributes in properties located in Apiaí – SP. The evaluation of soil hydro-physical attributes evolution over the time (six to twenty four months depending on the treatment) was done through monitoring of bulk density, calculated porosity, porosity by image analysis, hydraulic conductivity and organic matter content. The results showed that all the three management systems studied had high values of organic matter content, especially on the layer 0,0 – 0,2 m, although they did not show tendency to accumulate. These high values of organic matter provide the soils with lower bulk density values and higher porosity, resulting in higher soil water conductivity. Image analysis identified big irregular pores, as the main pores responsible for high porosity and hydraulic conductivity of the studied soils. Each management system presented hydro-physical attributes in adequate conditions for crop growth, and did not represent an obstacle for the maintenance of these systems in this location, furthermore, the use of agroforestry systems management is a newsworthy alternative to this area of the Vale do Ribeira as a conservative agricultural practice.

Keywords: Agroforestry; Conventional; Organic; Image analysis; Hydraulic conductivity

2.1 Introdução

A economia da região do Vale do Ribeira baseia-se no intenso cultivo de produtos agrícolas em modelo convencional, sendo o tomate um dos principais produtos cultivados. Esta hortaliça, de grande importância no Brasil, é um dos cultivos que mais exigem a aplicação de agrotóxicos, totalizando cerca de 30 pulverizações de inseticidas e fungicidas para todo o ciclo da cultura (GRAVENA; BENVEGA, 2003). A produção do município de Apiaí (Vale do Ribeira) é responsável pelo abastecimento de pelo menos 10% de todo o fruto consumido no Estado.

Apesar da significativa produção de tomate, a região apresenta baixos índices de desenvolvimento humano, o que contrasta com a exuberância de sua diversidade florestal. É nessa região que está localizada a maior parcela contínua de remanescentes da Mata Atlântica e de ecossistemas associados do país, concentrando 40% das unidades de conservação do estado de São Paulo.

Ao mesmo tempo, a região possui inúmeras microbacias hidrográficas em cujas cabeceiras são desenvolvidas atividades agrícolas intensas, principalmente o cultivo de tomate convencional. O uso indiscriminado de insumos ferti-sanitários e o manejo do solo fora de sua aptidão agrícola, aliados à falta de consciência da população na proteção do solo e das vertentes, aumentam a probabilidade de poluição ambiental. Ademais, fatores pedoclimáticos intrínsecos a essas regiões, como alta pluviometria, presença de solos pouco profundos e com declividade acentuada, potencializam a ação do homem na transferência de poluentes dos sistemas terrestres aos aquáticos.

Neste contexto, o uso de práticas de manejo impróprias à conservação do solo e, conseqüentemente, da água traz inúmeros prejuízos socioambientais a toda região. Desta forma, observa-se a necessidade da implantação de sistemas de manejo conservacionistas que sejam interessantes no sentido de auxiliar o desenvolvimento regional em convívio com o ecossistema da região.

Os diferentes sistemas de manejo de solos têm a finalidade de criar condições favoráveis ao desenvolvimento das culturas. Porém, o uso de máquinas e insumos inadequados ao solo podem provocar modificações em sua estrutura, que ocorrerão de acordo com o tipo de preparo efetuado no solo. Acredita-se que os sistemas ditos convencionais causem as maiores modificações estruturais (TAVARES FILHO; TESSIER, 1998; ARGENTON, 2000; ALBUQUERQUE et al., 2001). Nesse sentido, a adoção de sistemas de manejo conservacionistas vem

sendo citada como uma das práticas para a conservação do solo e de outros recursos naturais.

A necessidade de reduzir o impacto ambiental das atividades humanas, principalmente das atividades agrícolas na degradação da estrutura do solo, é o principal objetivo do manejo e conservação do solo. O preparo intensivo do solo prejudica suas propriedades físicas, diminuindo o rendimento das culturas e aumentando a deterioração do meio ambiente (PAGLIAI; VIGNOZZI, 2002). Somado a isto, ainda temos a perda da fertilidade e capacidade de suporte do solo (YOUNG et al., 1986), levando a condições impróprias para o desenvolvimento das atividades antrópicas, resultando no posterior abandono destas áreas.

Diante disso, um dos sistemas de manejo conservacionista estudados são os sistemas agroflorestais, onde plantas agrícolas são combinadas com espécies arbóreas e arbustivas, na mesma unidade de manejo, ao mesmo tempo ou em sequência (NAIR, 1993; INTERNATIONAL CENTER FOR RESEARCH IN AGROFORESTRY, 1995; SILVA et al., 2011). Este sistema eleva a diversidade do ecossistema e aproveita as interações benéficas que ocorrem entre as plantas de diferentes ciclos, portes e funções (SANCHEZ, 1995; YOUNG, 1997). Os sistemas agroflorestais 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 aporte contínuo de matéria orgânica (BREMAN; KESSLER, 1997; ARAÚJO et al., 2001; SÁNCHEZ, 2001; SCHROTH et al., 2002).

Outro método conservacionista que pode ser citado é o manejo orgânico. Estudos de Mäder et al. (1997) demonstram que esse manejo resultou em elevada reserva de matéria orgânica ativa, caracterizada por alta biomassa microbiana e elevadas taxas de atividades enzimáticas (desidrogenase, fosfatase alcalina, protease e catalase) no solo, representando um potencial maior para as transformações de nutrientes no solo. Adicionalmente, os sistemas orgânicos mostraram maior abundância e diversidade de minhocas e artrópodes.

A proteção dos remanescentes florestais e dos recursos hídricos da região pode ser feita através da preservação das características físicas do solo pela adoção de sistemas de manejo alternativos que visem uma produção conservacionista. Sendo assim, acredita-se que o uso de sistemas de manejo alternativos que visem à proteção do solo contra a degradação é uma alternativa extremamente atraente para a região.

Nesse contexto o presente trabalho tem como objetivos:

Objetivo principal:

- Avaliar o efeito de cada diferente sistema de manejo (convencional, orgânico e agroflorestal) na evolução dos atributos físico-hídricos do solo ao longo do tempo na região do Vale do Ribeira.

Objetivos específicos

- Avaliar a influência do uso e manejo sobre a qualidade física dos solos da região.
- Avaliar e identificar qualitativamente as áreas onde o manejo do solo se mostra não sustentável.

A pesquisa baseia-se na hipótese de que:

- Os sistemas agroecológicos (sistemas agroflorestais e orgânicos) apresentarão melhores resultados para os atributos físicos e hídricos do solo ao longo do tempo.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Descrição do local de estudo

Três diferentes sistemas de manejo foram selecionados para a sua avaliação ao longo do tempo, sistema convencional, orgânico e agroflorestal, em todos os sistemas o solo foi classificado como Cambissolo háplico. O sistema convencional foram escolhidos duas propriedades para o estudo, a CON 1 que esta localizada no distrito de Barra do Chapéu e CON 2 no entorno da cidade de Apiaí. Os outros dois sistemas chamados de agroecológicos, um orgânico possui 6 áreas ORG 1, ORG 2, ORG 3, ORG 4, ORG 5 e ORG 6 e o outro um sistema agroflorestal com 3 áreas SAF 1, SAF 2 e SAF 3, todos estes estão localizados no assentamento tipo PDS (Projeto de Desenvolvimento Sustentável) “Luiz David de Macedo”, no entorno do Parque Estadual do Alto Ribeira (PETAR), localizado no município de Apiaí – SP (Figura 1).

Figura 1 - Localização das áreas de estudo

2.2.2 Histórico das áreas

O histórico das áreas é essencial para a compreensão das interpretações dos resultados das análises. O manejo é um fator que possui grande Influência nos atributos físico-químicos do solo. Abaixo, estão descritos os manejos adotados que foram registrados no dia em cada período de coleta para cada propriedade visitada.

No SAF 1 (Tabela 1), foi realizado no mês de abril de 2009 a preparação da área a ser monitorada com a utilização de uma grade pesada e a instalação de pequenos terraços em nível. No mês de julho de 2009 a área permanecia em pousio após o preparo com a presença de algumas gramíneas e ervas daninhas diversas. Após um ano de preparo, a área já possuía algumas culturas plantadas. Em uma parte da área havia o cultivo de mandioca e as árvores do sistema já tinham sido plantadas, onde uma linha era de frutíferas e outra linha de árvores para extração de madeira (Bracatinga). Também existia um espaço entre as linhas das árvores para futuros plantios de culturas perenes como, por exemplo, o feijão, pois o SAF é um tipo de uso da terra onde plantas de espécies agrícolas são combinadas com espécies arbóreas florestais perenes sobre a mesma unidade de manejo (NAIR, 1993; SILVA et al., 2011).

Em outubro de 2010 a configuração do SAF permanecia a mesma com a diferença das árvores, tanto frutíferas como as destinadas a produção de madeira, estavam maiores, assim como as áreas destinadas ao cultivo de culturas perenes estarem uma parte coberta por ervas daninhas e outra parte havia sido capinada e revolvida com a enxada. Três meses depois em janeiro de 2011 a área útil para a produção de culturas perenes estava roçada e as outras culturas se desenvolvendo normalmente.

Tabela 1 – Manejo adotado pelo SAF 1 verificado no dia das coletas

Coleta	Data	Manejo
1	Abr/09	Área preparada gradão
2	Jul/09	Pousio após preparo
3	Jul/10	Mato entre linhas / Mandioca / Frutíferas / Bracatinga
4	Out/10	Área revolvida / Mato / Mandioca / Frutíferas / Bracatinga
5	Jan/11	Mato roçado / Mandioca / Frutíferas / Bracatinga

A área do SAF 2 em abril de 2009 possuía em sua área a cultura do milho, mandioca e as árvores no mesmo desenho do SAF 1 (Tabela 2), uma linha de árvores frutíferas e outra de árvores para madeira (bracatinga) intercaladas com as culturas perenes e semi-perenes e sendo mantidas capinadas e limpas de mato. Na segunda coleta já havia sido realizada a colheita do milho e seus resíduos foram roçados para formar uma cobertura morta na superfície. Um ano após foi realizada outra coleta de amostras de solo; nesse intervalo, segundo informações do agricultor, foi realizado o plantio da cultura do milho novamente na início do ano, mas no dia da coleta a área estava limpa nas entre linhas das árvores e sem novos plantios. Em outubro de 2010 houve o acréscimo da cultura do inhame no local e a área permanecia sem mato, sendo encontrada da mesma maneira na coleta seguinte.

Tabela 2 – Manejo adotado pelo SAF 2 verificado no dia das coletas

Coleta	Data	Manejo
1	Abr/09	Milho / Mandioca / Frutíferas / Bracatinga
2	Jul/09	Milho Roçado / Mandioca / Frutíferas / Bracatinga
3	Jul/10	Área limpa / Mandioca / Frutíferas / Bracatinga
4	Out/10	Capinado / Mandioca / Frutíferas / Bracatinga / Inhame
5	Jan/11	Capinado / Mandioca / Frutíferas / Bracatinga / Inhame

As coletas no SAF 3 começaram no mês de abril de 2009 com a área sendo ocupada pela cultura do milho com mato na entre linha (Tabela 3). Na coleta seguinte já havia sido colhido o milho e o mato não foi controlado, crescendo sobre as poucas mudas de árvores que existiam na área, abafando-as e matando-as. A partir desta coleta de julho de 2009 até janeiro de 2011, não houve manejo nessa área, que se transformou em uma área abandonada. Na última coleta realizada neste projeto, a área foi arada, sendo preparada para o cultivo do milho.

Tabela 3 – Manejo adotado pelo SAF 3 verificado no dia das coletas

Coleta	Data	Manejo
1	Abr/09	Milho / mato entrelinhas
2	Jul/09	Milho colhido / mato
3	Jul/10	Mato
4	Out/10	Mato
5	Jan/11	Área arada

O CON 1 é uma fazenda de produção de grãos (milho) e de madeira (Pinus). Na coleta 1 a área foi utilizada para o cultivo de vagem após ser utilizada com a cultura do tomate (Tabela 4). Na coleta seguinte, no mês de julho de 2009, a área estava em pousio com a presença de mato e um ano depois, no mesmo mês, a área estava em pousio com brachiaria após ser colhido o milho. Em outubro, quando foi realizada a coleta 4, a área estava revolvida, sendo preparada para o cultivo do milho que foi realizado em dezembro. Na coleta 5, em janeiro de 2011 o milho já estava com 0,5 m de altura.

Tabela 4 – Manejo adotado pelo CON 1 verificado no dia das coletas

Coleta	Data	Manejo
1	Abr/09	Vagem
2	Jul/09	Área Pousio / Mato
3	Jul/10	Milho colhido / Brachiaria
4	Out/10	Solo revolvido
5	Jan/11	Milho

A área do CON 2 foi revolvida com o auxílio de uma grade no mês de julho de 2009, transformando esta área em pastagem (Tabela 5). Um ano após, o uso dessa área continuou sendo de pasto e assim permaneceu até o final das coletas nesta área. O pasto implantado não era pastagem plantada e sim regeneração das espécies de capins já existentes e seu manejo também não foi controlado, pois a altura do resíduo do capim era baixa em todas as visitas para a realização das coletas.

Tabela 5 – Manejo adotado pelo CON 2 verificado no dia das coletas

Coleta	Data	Manejo
1	Jul/09	Área preparada com grade
2	Jul/10	Pasto
3	Out/10	Pasto
4	Jan/11	Pasto

Na realização da coleta 1 dentro do sistema orgânico 1 (Tabela 6), havia a cultura do tomate e nas suas entre linhas abobora e mato. Esse mato na entre linha é desejável para esse manejo pois colabora no aumento de predadores para a diminuição da incidência de pragas da lavoura (KHATOUNIAN, 2001), visto que a utilização de produtos no controle de pragas é restrito e controlado. A cultura do tomate se estendeu até a coleta 2 juntamente com a presença do mato na entre linha do cultivo. Após um ano, a área foi utilizada para o plantio de adubo verde (nabo forrageiro) e parte dele estava capinado. Em outubro o uso do adubo verde continuou (sementeira) e foi inserido o plantio de couve-flor em linhas dentro desta área. Após o cultivo da couve-flor, esta área permaneceu em pousio com a presença de mato no local.

Tabela 6 – Manejo adotado pelo ORG 1 verificado no dia das coletas

Coleta	Data	Manejo
1	Abr/09	Tomate / Abobora / Mato entre linhas
2	Jul/09	Tomate / Mato entre linhas
3	Jul/10	Adubo verde (nabo forrageiro) / Capinado
4	Out/10	Adubo verde (nabo forrageiro) / Couve-Flor
5	Jan/11	Mato

A área ORG 2 em julho de 2009 estava em pousio após ser preparada recentemente e continha um pouco de mato nascendo e começando a cobrir a área (Tabela 7). Em dezembro de 2009 esta área foi gradeada, preparando o solo para o cultivo do tomate, que foi realizado entre as coletas 2 e 3. Na coleta 3 quando foi realizada, o cultivo do tomate acabou e a área estava com mato nas entre linhas das estruturas utilizadas para a sustentação do tomateiro. Após alguns meses, as estruturas foram retiradas e foi plantado adubo verde na área (nabo forrageiro) para

melhorar as condições físicas do solo (ALVES et al., 2007). Na coleta subsequente o mato tomou conta do cultivo do adubo verde e recobriu toda a área.

Tabela 7 – Manejo adotado pelo ORG 2 verificado no dia das coletas

Coleta	Data	Manejo
1	Jul/09	Área preparada - Pousio
2	Dez/09	Área preparada com grade
3	Jul/10	Mato
4	Out/10	Adubo verde (nabo forrageiro)
5	Jan/11	Mato

A área ORG 3 foi preparada com intuito do plantio da cultura do tomate, mas, a não aprovação do recurso para a compra de sementes e insumos, fez com que essa área tivesse seu uso alterado, passando a ser uma área de pastagem (Tabela 8). Esta pastagem não foi plantada, apenas conduzindo o capim brachiaria / mato que nasceu no local e os animais soltos para rebaixar a vegetação que permaneceu baixa em todas as coletas realizadas.

Tabela 8 – Manejo adotado pelo ORG 3 verificado no dia das coletas

Coleta	Data	Manejo
1	Nov/08	Área preparada com grade
2	Jul/09	Pousio
3	Jul/10	Pasto
4	Out/10	Pasto
5	Jan/11	Pasto

O início das coletas na ORG 4 foi no mês de março de 2009. Nesse período a área foi ocupada pelo cultivo da cultura do tomate e milho (Tabela 9). Quatro meses após com a colheita destas culturas, a área permaneceu em pousio / mato e com as estruturas que sustentam a cultura do tomateiro. Em julho de 2010 na coleta 3, a área estava em pousio após ser cultivada com a cultura do milho. Três meses depois a área foi ocupada pela cultura do arroz e suas entre linhas estavam limpas através de capinas. Entretanto na última coleta a área estava ocupada por mato e não haviam culturas implantadas.

Tabela 9 – Manejo adotado pelo ORG 4 verificado no dia das coletas

Coleta	Data	Manejo
1	Mar/09	Tomate / Milho
2	Jul/09	Pousio / Mato
3	Jul/10	Pousio / Milho colhido
4	Out/10	Arroz / Área capinada
5	Jan/11	Pousio / Mato

Em julho de 2009, foi realizada a coleta 1 na área ORG 5, onde foi retirada a capoeira para a abertura de áreas de cultivo (Tabela 10). Um ano após o desmatamento, na coleta 2, já havia a cultura do tomate implantada, observada no dia da coleta. Na coleta 3 em outubro de 2010 os cultivos de feijão e couve-flor ocupavam o espaço deixado pela cultura do milho sendo que a área estava limpa por capina. Na última coleta, após os cultivos anteriores, a área permaneceu em pousio com a presença de mato por toda a área.

Tabela 10 – Manejo adotado pelo ORG 5 verificado no dia das coletas

Coleta	Data	Manejo
1	Jul/09	Desmatamento capoeira
2	Jul/10	Tomate
3	Out/10	Feijão / Couve-flor / Área capinada
4	Jan/11	Pousio / Mato

A última área do sistema orgânico chamada de ORG 6 estava em pousio / mato quando foi realizada a coleta 1 em julho de 2010. Nas coletas seguintes, a área estava ocupada com a cultura do feijão e de adubo verde (nabo forrageiro) e, na última coleta no mês de janeiro de 2011, as culturas de milho e abóbora (Tabela 11).

Tabela 11 – Manejo adotado pelo ORG 6 verificado no dia das coletas

Coleta	Data	Manejo
1	Jul/10	Pousio / Mato
2	Out/10	Feijão / Adubo verde (Nabo forrageiro)
3	Jan/11	Milho / Abobora

2.2.3 Atributos químicos do solo

2.2.3.1 Matéria orgânica

As amostras deformadas compostas de 5 pontos para a análise da matéria orgânica foram coletadas em três camadas: 0,0 – 0,2; 0,2 – 0,4 e 0,4 – 0,6 m ao longo do tempo nos diferentes sistemas de manejo e realizadas no laboratório do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP.

2.2.3.2 Determinação da matéria orgânica (g kg⁻¹)

Transferir 1 grama de solo em erlenmeyer de 500 ml e adicionar 10 ml de dicromato de potássio e depois 20 ml de ácido sulfúrico p.a.. Descanso de mais ou menos 1 hora. Completar com 200 ml de água deionizada.

Leitura: por titulação com a solução de sulfato ferroso amoniacal (ou sal de Mohr).

Cálculo:

MO = [(V branco – V amostra) x CFe x 0,003 x 1,33 x 1,724 x 1000] ÷ Volume do solo

$$CFe = [10 \times 0,167 \times 6] \div V \text{ branco}$$

2.2.4 Atributos físicos do solo

2.2.4.1 Análise granulométrica

Para cada área estudada foram coletadas amostras deformadas compostas de 3 pontos nas camadas de 0,0 – 0,1; 0,0 – 0,2; 0,2 – 0,4; 0,4 – 0,6; 0,6 – 0,8; 0,8 – 1,0 e 1,0 – 1,2 m para a determinação da granulometria do solo, para caracterizar a área em estudo. Estas análises foram realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP pelo método do densímetro (GEE; BAUDER, 1986). Após agitação horizontal por 16 horas das amostras com uma solução dispersante contendo hidróxido de sódio e hexametáfosfato de sódio (CAMARGO et

al., 1986). A sedimentação diferenciada dos materiais do solo, devido ao tamanho, permite estabelecer a velocidade com que a partícula decanta (Lei de Stokes). Com isso, pode-se medir a densidade da suspensão a cada intervalo de tempo pré-determinado relacionado ao tamanho das partículas.

2.2.4.2 Densidade do solo

A densidade do solo foi determinada nas profundidade de 0,00 – 0,05 e 0,10 – 0,15 m, sendo coletadas 3 repetições por profundidade. Para a realização das coletas, foram utilizados cilindros de 100 cm³ que após preenchidos de solo foram secos em estufa a 105°C por 24 horas para a determinação da massa seca do solo. A densidade do solo foi determinada relacionando massa seca e o volume de cada amostra.

2.2.4.3 Densidade de partículas

A densidade de partículas foi obtida pelo método do picnômetro de gás hélio, (ACCUPYC 1330, Micromeritics Instrument Corporation®). Foram utilizadas para a análise as mesmas amostras da análise de densidade do solo. As amostras foram secas em estufa a 105 C° e posteriormente foram passadas em peneira de malha 2 mm. Uma alíquota de aproximadamente 7 a 8 gramas de solo seco (dois terços da cápsula do equipamento) foram pesadas em uma cápsula de metal e, em seguida, foram realizadas as leituras no picnômetro. Este equipamento realiza o cálculo da densidade de partículas a partir da inserção do valor de peso seco da amostra a ser analisada. Sua calibração consiste na leitura do volume inicial com a cápsula vazia, tornando possível, pela diferença de volume encontrado entre a cápsula vazia e a cápsula com solo, calcular o volume das partículas. Ao dividir este volume pelo peso seco da amostra, o equipamento calcula a densidade de partículas do solo.

2.2.4.4 Porosidade calculada

A porosidade está diretamente ligada à densidade do solo. Ela determina o espaço poroso no solo (REICHARDT; TIMM, 2004). Assim, com a densidade do solo e de partículas determinadas, foi possível calcular a porosidade total do solo (α) para ambas as profundidades de cada área, nas três coletas, a partir da seguinte equação (1):

$$\alpha = 1 - \left(\frac{D_s}{D_p} \right) \quad (1)$$

Onde, D_s é a densidade do solo e D_p é a densidade das partículas

2.2.4.5 Micromorfologia e distribuição de poros no solo por análise de Imagens

Uma amostras indeformadas para análise micromorfológica e de imagens foram coletadas em todas as áreas para as profundidades de 0 – 0,12 m e 0,12 – 0,24 m. Para essa coleta foi escavada uma mini-trincheira em cada parcela coletada de 0,30 x 0,30 x 0,40 m. Foi esculpido no solo um bloco de 0,12 x 0,07 x 0,04 m (Figura 02). As amostras foram identificadas e orientadas em direção à superfície do solo (norte).

Estas amostras foram levadas ao laboratório para serem secadas ao ar por 15 dias. Após este período, foram levadas a estufa a 40°C com ventilação forçada por 48 horas. Uma vez secas, as amostras foram postas em potes de plástico e acondicionadas em dessecadores ligados a uma bomba de vácuo para facilitar a penetração da solução para a impregnação (CASTRO et al., 2003).

A solução para a impregnação das amostras era composta por uma parte de resina poliéster “cristal”, segundo metodologia apresentada por Murphy (1986), e uma parte de monômero de estireno. O monômero é utilizado para reduzir a viscosidade da resina (CASTRO et al., 2003) e assim facilitar a penetração da solução na amostra coletada. Além disso, foram adicionados 5 g de pigmento fluorescente Tinopal OB (BASF®) (MURPHY; BULLOCK; TURNER, 1977), na proporção de 1 kg misturados a 1 m³ de monômero, sobre o qual também foi adicionada a resina e um catalisador para controle do endurecimento da solução (RINGROSE-VOASE, 1991), neste caso foi o peróxido orgânico (Butanox M50,) em 4 gotas por 10⁻³ m³ de solução.

Com a solução pronta, colocaram-se pequenas doses dessa solução nos potes plásticos e ligado o vácuo por 30 minutos, sendo retiradas as amostras novamente e adicionado mais uma dose de solução, retornando ao vácuo e assim sucessivamente até a amostra estar coberta pela solução. O período em que amostra permanecia no vácuo era de no mínimo 24 horas (RINGROSE-VOASE, 1991).

Figura 2 - Amostra indeformada

Figura 3 - Amostra com solução

Depois de endurecidos, os blocos impregnados foram cortados em 3 partes usando uma serra de diamante. Estes blocos cortados foram lixados com o auxílio de um disco rotatório e um material abrasivo o carbureto de silício de granulação mais grossa (220 mesh, com grãos de 53-62 μm) e polidas com um disco rotatório e carbureto de silício mais fino (600 mesh, grãos de 18-22 μm), mantendo a amostra sempre úmida em contato com o material abrasivo. Após serem lixados e polidos, esses blocos foram utilizados para estudos de análise de imagens no Laboratório de Microscopia do Departamento de Ciência do Solo, ESALQ/USP, onde, sob luz ultravioleta e em ambiente escuro, o espaço poroso (mais claro) foi destacado da matriz do solo (mais escura) pelo pigmento fluorescente utilizado.

Um bloco por profundidade e por área foi utilizado para a aquisição das imagens que foram obtidas por uma câmera digital em cores (Sony®, modelo DFW-X700), em sistema “charged couple device” (CCD), conectada a uma lupa com polarizador (Zeiss®). As imagens foram digitalizadas em 1024x768 pixels, com resolução espectral de 256 tons de cinza, em aumento de 10x, igualando um pixel a 156,25 μm^2 . A identificação dos poros na imagem foi feita através de rotinas de programação desenvolvidas no software Noesis® Visilog 5.4.

A análise de imagens é usada cada vez mais para determinar o tamanho dos poros e sua distribuição (STOOPS, 2003), e neste trabalho a quantificação da porosidade foi realizada conforme a classificação de Bullock et. al (1985), que classifica os diâmetros entre 50 e 500 micrômetros como sendo os mesoporos e macroporos os diâmetros entre 500 a 5000 micrômetros.

O processo de classificação e quantificação da porosidade total, foi realizado seguindo os critérios definidos por Cooper; Vidal-Torrado, (2005) e otimizado por macros desenvolvidas em linguagem Visual Basic no Microsoft® Excel (JUHÁSZ, 2007).

A forma dos poros (Tabela 1) e a área dos poros foram determinadas, em cada bloco impregnado de solo, de acordo com dois índices de forma, assim como utilizado por Cooper (1999), Juhász (2006) e Souza et. al., (2006).

Os dois índices utilizados para determinar a forma dos poros foram I_1 (Eq. 2) e I_2 (Eq. 3), onde o primeiro separa os poros arredondados dos poros alongados (HALLAIRE; CONTEIPAS, 1993) e o segundo índice realiza a classificação entre alongados e complexos e é utilizado como complemento ao índice I_1 para obter precisão mais alta na separação entre os grupos de formas arredondados, alongados e complexos (Tabela 12).

$$I_1 = \frac{P^2}{4\pi A} \quad (2)$$

Onde, P é o perímetro do poro e A é a área ocupada.

$$I_2 = \frac{\frac{1}{m} \sum_i (N_i) i}{\frac{1}{n} \sum_j (D_F) j} \quad (3)$$

Onde, m = número de direções i nas quais é calculado o número de interceptos N_i , ($i = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ e 135°); n = número de direções j nas quais são calculados os diâmetros de Féret D_F , ($j = 0^\circ$ e 90°).

Tabela 12 - Definição das classes de forma dos poros

Forma de Poros	Índices de forma	
	I_1	I_2
Arredondados	$I_1 \leq 5$	
Alongados	$5 < I_1 \leq 25$	$\leq 2,2$
Complexos	$I_1 > 5$	$> 2,2$

As classes de tamanho foram dadas em três, poros de tamanho pequeno, aqueles que ocupam áreas entre $1,56 \times 10^{-4}$ e $1,56 \times 10^{-2} \text{ mm}^2$; poros médios, entre $1,56 \times 10^{-2}$ e $1,56 \times 10^{-1} \text{ mm}^2$ e poros grandes, áreas maiores do que $1,56 \times 10^{-1} \text{ mm}^2$.

2.2.5 Atributos físico-hídricos

2.2.5.1 Condutividade Hidráulica

Para medir a infiltração de água no solo, foi utilizado o infiltrômetro de disco que foi apresentado por Perroux e White (1988). Nos locais de leitura do equipamento foram utilizados areia fina para facilitar a colocação do infiltrômetro, aplainar e não perturbar a superfície do solo (Figura 04). Com isso criou-se um maior contato entre a placa porosa e o solo. Três potenciais foram aplicados durante as medidas de infiltração: -2,0; -4,5 e -6,5 cm. Uma descrição detalhada do aparelho e do seu modo de funcionamento é dada por Ghiberto (1999).

O protocolo de cálculo utilizado neste trabalho é apresentado por Ankeny et al. (1991) que se baseia na equação do Wooding (1968). Este protocolo é simplificado utilizando as medidas obtidas com o infiltrômetro com um disco somente. Mas este protocolo simplificado só permite estimar a condutividade hidráulica $K(\Psi)$.

Figura 4 – Infiltrômetro de disco

Além desses potenciais medidos em campo, foi calculada a condutividade saturada dos solos para cada coleta, este cálculo baseou-se no método proposto por Gardner (1958) que é um artifício de transformação para linearizar a equação diferencial desenvolvida por Richards (1931) que descreve o movimento da água no meio poroso, homogêneo e não saturado com fluxo em regime permanente.

2.2.6 Análise estatística

Foram analisados os dados de porosidade do solo obtidos pela micromorfologia, valores de densidade do solo e de condutividade de água. O delineamento desta análise foi o inteiramente aleatório.

A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk (1965). Realizou-se também a análise de variância pelo teste F, com comparação de médias pelo teste de Tukey, com 5% de probabilidade.

Para a realização das análises, foi utilizando o programa computacional SAS (SAS INSTITUTE, 1995).

2.3 Resultados e discussões

2.3.1 Granulometria

A área do SAF 1 apresenta teores de argila acima de 350 g kg^{-1} , sendo classificada de textura argilosa (Figura 5). Apenas na última profundidade esse solo apresenta teores de argila inferiores a 350 g kg^{-1} , sendo classificado como textura média. Os teores de areia variaram de 390 a 446 g kg^{-1} e os teores de silte 180 a 250 g kg^{-1} .

A textura da área do SAF 2 é classificada pelo triângulo textural da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo como textura média, pois apresenta 260 g kg^{-1} de argila na profundidade de 0,0 – 0,2 m aumentando gradativamente até atingir valor de 340 g kg^{-1} de argila na profundidade de 1,0 – 1,2 m. Os valores de silte diminuem em profundidade (Figura 5). Os valores de areia variaram entre 470 e 520 g kg^{-1} . Assim como a área do SAF 2, a textura da área do SAF 3 é média, onde os valores de argila variam entre 240 a 310 g kg^{-1} , os de silte 180 a 290 g kg^{-1} e os de areia 460 a 520 g kg^{-1} (Figura 5).

Figura 5 – Gráficos dos valores de granulometria para as áreas do sistema agroflorestal

O CON 1 apresenta textura argilosa a muito argilosa (Figura 6), onde o valor de argila na camada de 0,0 – 0,2 m é de 460 g kg⁻¹ e nas demais camadas varia entre 590 a 640 g kg⁻¹. Os valores de silte e areia variaram entre 110 a 180 g kg⁻¹ e 220 a 380 g kg⁻¹ respectivamente. A área do CON 2 é textura média, variando os valores de argila entre 190 e 340 g kg⁻¹, silte 300 a 450 g kg⁻¹ e areia 230 a 480 g kg⁻¹ (Figura 6).

Figura 6 – Gráficos dos valores de granulometria para as áreas do sistema convencional

A área do ORG 1 possui textura média a argilosa (Figura 7), com um incremento de argila em profundidade, passando de 330 g kg⁻¹ na profundidade de 0,0 – 0,2 m para 500 g kg⁻¹ para a profundidade de 1,0 – 1,2 m. No ORG 2, área próxima a ORG 1, apresentou também textura média argilosa, variando os teores de argila de 200 a 410 g kg⁻¹. O ORG 3, possui uma área de textura argilosa e bastante homogênea em todo seu perfil, os valores de argila variaram de 400 a 480 g kg⁻¹, silte 170 a 200 g kg⁻¹ e areia 350 a 400 g kg⁻¹ existindo pouca variação.

Outra duas áreas pertencentes ao mesmo produtor, ORG 4 E ORG 5, possuem texturas argilosas e valores de argila variando de 370 a 490 g kg⁻¹ e 360 a 500 g kg⁻¹, respectivamente (Figura 7). A última área, ORG 6, apresenta textura argilosa, sendo que na primeira profundidade o valor de argila é de 430 g kg⁻¹ e nas últimas 530 g kg⁻¹ de argila.

Figura 7 – Gráficos dos valores de granulometria para as áreas de sistema orgânico

2.3.2 Matéria orgânica

As análises da matéria orgânica foram realizadas visando à caracterização dos solos estudados durante a condução do projeto e à tentativa de verificar possíveis tendências de aumento ou diminuição conforme o tipo de manejo adotado pelos produtores dentro da cada sistema.

Ao analisar as tabelas do conteúdo de matéria orgânica no solo de cada sistema e de cada coleta, nota-se que principalmente na profundidade de 0,00 –

0,20 m os valores são considerados altos se compararmos com os solos de clima tropical, pois apresentam, em média, valores acima de 40 g kg^{-1} . Este alto valor está relacionado com as condições climáticas (temperatura e precipitação média anual) que são fatores importantes na determinação dos níveis de matéria orgânica do solo (STEVENSON, 1994; DALMOLIN et al., 2006) presentes nesses locais, onde a alta pluviosidade anual e as baixas temperaturas reduzem a atividade biológica (TATE, 1992) e aumentam o conteúdo de matéria orgânica no solo.

Nos SAFs 1 e 2, apesar das variações, observou-se uma tendência de aumento no conteúdo de matéria orgânica ao longo do tempo, principalmente na profundidade de 0,00 – 0,20 m, pois os SAFs se assemelham as condições naturais, consorciando várias espécies dentro da mesma área, favorecendo o aporte contínuo e diversificado de matéria orgânica (YOUNG, 1997; ARAÚJO et al., 2001; SÁNCHEZ, 2001; SCHROTH et al., 2002). Além disso, essas mudanças na matéria orgânica do solo são relativamente lentas e precisam de um longo período para detectar os efeitos na qualidade do solo (PRAUDEL et al., 2012). Mesmo para o SAF 3 que permaneceu com mato o tempo todo, este apresentou uma diversidade grande de plantas presentes na área, promovendo um maior crescimento de raízes, o que favorece o incremento de matéria orgânica no solo.

O preparo convencional das áreas promove maior revolvimento do solo e sua desestruturação, acelerando a decomposição da matéria orgânica (SHIPITALO et al., 2000; LLANILLO et al., 2006; MOUSSA-MACHRAOUI, 2010) e expondo as frações orgânicas ao ataque de microrganismos (RESCK et al., 1991). Entretanto, nos dois sistemas convencionais de cultivo estudados, apresentaram pequena oscilação entre seus valores como visto no SAF, e também apresentaram valores menores do que nos outros dois sistemas (SAF e ORG). Embora menor, os valores de matéria orgânica na área do CON 1 assumem valores entre $31,0$ a $39,2 \text{ g kg}^{-1}$ na profundidade de 0,0 – 0,2 m e, além disso, mostram pequeno aumento no teor de matéria orgânica ao longo do tempo nesta área.

Tabela 13 – Tabela com os valores de matéria orgânica dos SAFs e CONs de cada coleta realizada

Coleta	Profundidade	SAF 1	SAF 2	SAF 3	CON 1	CON 2
	----- m -----	----- MO (g kg ⁻¹) -----				
1	0,0 – 0,2	43,2	67,1	85,8	31,0	44,9
	0,2 – 0,4	32,3	59,6	32,5	25,7	14,2
	0,4 – 0,6	23,9	49,2	28,4	19,5	6,4
2	0,0 – 0,2	44,3	138,9	63,6	36,9	41,4
	0,2 – 0,4	28,3	63,0	35,8	20,8	14,9
	0,4 – 0,6	18,2	40,6	26,2	16,6	9,5
3	0,0 – 0,2	42,4	121,6	100,0	37,0	55,4
	0,2 – 0,4	23,5	47,3	44,6	21,6	29,7
	0,4 – 0,6	20,3	35,4	31,1	18,9	14,9
4	0,0 – 0,2	37,0	59,5	100,0	36,5	52,7
	0,2 – 0,4	23,0	40,5	50,5	23,5	20,3
	0,4 – 0,6	28,4	25,7	47,3	20,8	17,6
5	0,0 – 0,2	60,3	229,8	229,8	39,2	...
	0,2 – 0,4	20,3	54,1	48,7	23,0	...
	0,4 – 0,6	28,9	35,1	30,5	21,6	...

Na área CON 2 apresentaram teores de matéria orgânica altos na profundidade de 0,0 – 0,2 m e decrescem em profundidade, resultado da maior concentração de raízes das gramíneas nas camadas mais superficiais, visto que aproximadamente 80% das raízes das gramíneas estão concentradas nos 15 primeiros centímetros de profundidade do solo (BARKER et al., 1988; BRASIL et al., 2000), mas nota-se que há pequeno aumento no conteúdo de matéria orgânica em subsuperfície ao longo do tempo, provavelmente pela decomposição das raízes mortas que foram formadas desde o início do projeto nestas profundidades.

Todas as áreas do sistema orgânico apresentaram altos valores de matéria orgânica. Houve, para todas as áreas, grande variação dos seus valores. Essa variação pode ter sido apresentada pela alta diversidade de cultivos que são realizados nas áreas e pelos manejos que nelas são adotados.

Os valores de matéria orgânica para a área ORG 1 são altos, principalmente na coleta 5 na profundidade 0,0 – 0,2 m, onde, por consecutivos plantios de adubo verde (coleta 3 e 4), acumulou maior teor de matéria orgânica nessa camada. Esse mesmo efeito é visto no ORG 2 na passagem da coleta 4 para a 5 e em ORG 6 entre as coletas 2 e 3. Ainda em ORG 2, na primeira coleta após ter sido revolvida, o valor de matéria orgânica foi maior entre as coletas, o que pode ser pela alta mineralização que ocorreu após o revolvimento, logo após na coleta seguinte o valor já é menor na superfície.

Na área do ORG 3 os valores de matéria orgânica são altos e, após o preparo do solo para a implantação da pastagem, os valores de matéria orgânica aumentam principalmente na profundidade de 0,00 – 0,20 m, onde a concentração de raízes das gramíneas são maiores.

Os valores de matéria orgânica variaram na área do ORG 4 e ORG 6 entre as coletas, não mostrando nem redução nem acúmulo ao longo do tempo. Na área ORG 5, após a retirada da capoeira na coleta 1, o valor de matéria orgânica na profundidade de 0,0 – 0,2 m decresce, pois, sob vegetação natural, a preservação da matéria orgânica é alta, devido ao mínimo revolvimento do solo, fazendo com que o aporte de carbono seja elevado com relação às áreas cultivadas (NOBRE; GASH, 1997).

Tabela 14 – Tabela com os valores de matéria orgânica dos ORGs de cada coleta realizada

Coleta	Profundidade	ORG 1	ORG 2	ORG 3	ORG 4	ORG 5	ORG 6
	----- m -----	----- MO (g kg ⁻¹) -----					
1	0,0 – 0,2	53,8	49,7	45,5	61,1	60,1	50,0
	0,2 – 0,4	39,8	11,8	29,9	42,9	36,3	33,3
	0,4 – 0,6	33,0	11,0	23,9	28,4	26,2	24,3
2	0,0 – 0,2	63,0	31,1	44,9	23,8	52,2	33,8
	0,2 – 0,4	37,9	14,9	33,1	28,9	37,0	27,0
	0,4 – 0,6	24,6	12,7	26,2	28,1	25,1	20,3
3	0,0 – 0,2	40,5	31,1	58,1	63,5	50,6	73,0
	0,2 – 0,4	26,2	16,2	36,5	32,4	36,5	28,4
	0,4 – 0,6	21,6	12,2	25,9	27,8	33,8	28,4
4	0,0 – 0,2	47,8	23,5	47,3	46,0	52,7	...
	0,2 – 0,4	35,9	12,2	39,2	38,1	44,6	...
	0,4 – 0,6	30,0	39,2	30,5	39,7	46,0	...
5	0,0 – 0,2	148,7	31,6	58,7	58,7	...	...
	0,2 – 0,4	32,4	16,2	31,1	40,8	...	...
	0,4 – 0,6	20,7	11,6	26,2	35,7	...	...

2.3.3 Densidade do solo

Nas tabelas que se seguem são apresentados os valores médios da densidade do solo de cada propriedade e sistema de manejo e as análises estatísticas que mostram as diferenças entre as densidades das profundidades amostradas e entre cada coleta ao longo do tempo.

Para todos os produtores do sistema agroflorestal, as densidades encontradas foram inferiores a $1,08 \text{ Mg m}^{-3}$, mas a maioria dos valores variaram entre $0,70$ a $0,99 \text{ Mg m}^{-3}$, semelhante a Carvalho et al. (2004), que encontraram densidade para os sistemas agroflorestais variando entre $0,84$ e $0,97 \text{ Mg m}^{-3}$. Alguns autores sugerem valores para a densidade do solo em função da sua classe textural. Estas densidades podem variar de $0,90$ a $1,60 \text{ Mg m}^{-3}$ (REICHARDT; TIMM, 2004) ou então de $1,00$ a $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$ (LIBARDI, 2005) para solos com textura argilosa. Alguns autores concordam com a presença de uma faixa de densidade onde a produção de culturas no campo seja eficiente: essa faixa varia de $0,90 - 1,20 \text{ Mg m}^{-3}$ (OLNESS et al., 1998; DREWRY et al., 2001; REYNOLDS et al., 2003; DREWRY; PATON, 2005).

As densidades médias apresentadas para o SAF 1 são densidades consideradas baixas (Tabela 15), sendo que, apenas na segunda coleta, obteve-se a densidade mais baixa para a primeira camada amostrada, sendo ela estatisticamente diferente das outras. O restante das densidades não houve diferença estatística entre as profundidades e nem para as coletas.

Tabela 15 – Médias das densidades para área SAF 1

Profundidade	Coleta									
	1		2		3		4		5	
----- m -----	----- Mg m^{-3} -----									
0,00 – 0,05	1,04	A a	0,81	B b	0,90	A ab	0,94	A ab	0,97	A ab
0,10 – 0,15	1,08	A a	1,09	A a	0,92	A a	0,99	A a	0,94	A a

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto à profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto à coleta na mesma profundidade.

Assim como para o SAF 1, o SAF 2 possui solo com uma densidade baixa, onde não há diferença estatística entre as profundidades amostradas (Tabela 16). Nas coletas 2, 3 e 5 apresentaram uma densidade mais baixa do que as coletas 1 e 4, havendo diferença estatística entre elas na primeira profundidade amostrada. Na segunda profundidade houve apenas diferença na coleta 2, onde seu valor foi o menor de todas as outras da mesma profundidade.

Tabela 16 – Médias das densidades para área SAF 2

Profundidade ----- m -----	Coleta									
	1		2		3		4		5	
	----- Mg m ⁻³ -----									
0,00 – 0,05	0,95	A a	0,78	A b	0,76	A b	0,85	A ab	0,77	A b
0,10 – 0,15	0,95	A a	0,71	A b	0,86	A ab	0,77	A ab	0,76	A ab

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto à profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto à coleta na mesma profundidade.

As densidades para a SAF 3 também são consideradas baixas (Tabela 17). A coleta 1, 2 e 4 diferiram estatisticamente entre as profundidades amostradas, sendo que a camada superficial apresentou uma densidade mais baixa do que a camada subsuperficial. Na camada superficial não houve diferença estatística entre as coletas. Isso não ocorreu na camada subsuperficial, onde as coletas 3 e 4 apresentaram as densidades mais baixas, devido a presença de mato na área, seguidas das coletas 5, 2 e 1 respectivamente.

Tabela 17 – Médias das densidades para área SAF 3

Profundidade	Coleta									
	1		2		3		4		5	
----- m -----	----- Mg m ⁻³ -----									
0,00 – 0,05	0,91	B a	0,81	B a	0,73	A a	0,73	B a	0,75	A a
0,10 – 0,15	1,08	A a	1,00	A ab	0,77	A c	0,81	A c	0,88	A bc

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto à profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto à coleta na mesma profundidade.

As densidades do CON 1 apresentaram-se dentro dos valores limites de densidade do solo (Ds) para solos argilosos como apresentados por Secco et al. (2005) que obtiveram valores limites para densidade de solo argilosos entre 1,08 a 1,33 Mg m⁻³ e Spera et al., (2006), que obtiveram os valores entre 1,23 a 1,34 Mg m⁻³. Apenas a densidade da terceira coleta na segunda camada estudada apresentou valor maior do que os limites estudados pelos autores citados anteriormente (Tabela 18). Algumas densidades foram inferiores as apresentadas pelos autores a até mesmo ficando fora dos limites estudado por um dos autores. Neste caso, as coletas 4 e 5 atribui-se esses valores de densidade considerados baixos ao revolvimento do solo que foi realizado na coleta 4, reduzindo assim a densidade do solo e a aumentando a sua porosidade, como veremos posteriormente. Esta redução na densidade na coleta 4 devido ao revolvimento do solo foi em função de todos os tratos culturais que a área sofreu antes desta coleta, como por exemplo, a colheita do milho.

Tabela 18 – Médias das densidades para área CON 1

Profundidade ----- m -----	Coleta									
	1		2		3		4		5	
	----- Mg m ⁻³ -----									
0,00 – 0,05	1,16	A ab	1,08	B abc	1,22	A a	0,91	A c	0,96	B bc
0,10 – 0,15	1,16	A a	1,33	A a	1,36	A a	1,12	A a	1,22	A a

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto à profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto à coleta na mesma profundidade.

As densidades do solo para o CON 2 apresentaram valores que variam entre 0,96 a 1,17 Mg m⁻³ (Tabela 19), valores baixos considerando os valores limites de densidade do solo (Ds) para solos de textura argilo-arenosa apresentados por Silva et al., (2006) que encontro um intervalo de densidade entre 1,00 a 1,50 Mg m⁻³ e Cavenage et al. (1999) que obteve este intervalo de 1,19 a 1,53 Mg m⁻³.

A primeira coleta foi a que apresentou a menor densidade na camada de 0,00 - 0,05 m e entre as coletas. Este valor esta relacionado com o revolvimento imposto pelo produtor com uma grade, desestruturando o solo e aumentando sua porosidade e reduzindo a densidade do solo, sendo estatisticamente diferente da última coleta que apresentou o maior valor de densidade do solo nesta profundidade. Ao passar o tempo, as densidades do solo na superfície aumentam, devido ao pisoteio dos animais que promovem a diminuição da porosidade dos solo na superfície. Esta redução da porosidade e aumento da densidade do solo nos dez primeiros centímetros do solo também foi vista por Vzzotto et al. (2000), Trein et al. (1991) e Correa e Reichardt (1995).

Tabela 19 – Médias das densidades para área CON 2

Profundidade ----- m -----	Coleta							
	1		2		3		4	
	----- Mg m ⁻³ -----							
0,00 – 0,05	0,96	B b	1,11	A ab	1,13	A ab	1,17	A a
0,10 – 0,15	1,16	A a	1,12	A a	1,06	A a	1,16	A a

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto à profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto à coleta na mesma profundidade.

A densidade do solo da área do ORG 1 variou de 0,86 a 1,21 Mg m⁻³ ao longo de todas as coletas (Tabela 20). Entre as camadas amostradas, somente a coleta 5 apresentou diferença estatística, sendo que a camada superficial apresentou a menor densidade do solo dentre todas as coletas. Isso decorre do manejo empregado na área, com uma diminuição de densidade em função do plantio de adubos verdes, assim como visto por Alves et al., 2007, mostrando as vantagens para o solo do plantio de adubo verde na melhoria deste atributo no solo.

Entre as coletas realizadas, a primeira camada não houve diferença estatística. Isto não ocorre na segunda camada, onde a coleta 1 foi a que apresentou a maior densidade tanto entre as coletas como em todas as densidades deste produtor.

Tabela 20 – Médias das densidades para área ORG 1

Profundidade ----- m -----	Coleta									
	1		2		3		4		5	
	----- Mg m ⁻³ -----									
0,00 – 0,05	1,12	A a	0,94	A a	0,96	A a	0,97	A a	0,87	B a
0,10 – 0,15	1,21	A a	0,98	A b	0,98	A b	1,04	A b	1,04	A b

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto à profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto à coleta na mesma profundidade.

As densidades na área do ORG 2 variaram entre 0,82 e 1,40 Mg m⁻³. Essa maior variação foi encontrada na coleta 1, pelo revolvimento do solo realizado na área (Tabela 21). Esse revolvimento do solo também foi visto na coleta 2, fazendo com que a densidade na profundidade de 0,00 – 0,05 m nessas duas primeiras coletas fossem menores com relação à profundidade de 0,10 – 0,15 m, apresentando diferença estatística entre estas duas profundidades. Nas demais coletas, a densidade diminui em ambas as profundidades com relação às duas primeiras, por causa da presença de mato, onde a deposição de resíduos de plantas é uma das fontes principais da matéria orgânica do solo, além dos organismos, vivos ou mortos, microrganismos e das raízes dos vegetais (THENG et al., 1987).

Tabela 21 – Médias das densidades para área ORG 2

Profundidade	Coleta									
	1		2		3		4		5	
----- m -----	----- Mg m ⁻³ -----									
0,00 – 0,05	0,82	B c	1,02	B b	1,21	A a	1,08	A ab	0,95	A bc
0,10 – 0,15	1,40	A a	1,31	A ab	1,08	A c	1,17	A bc	1,19	A abc

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto à profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto à coleta na mesma profundidade.

Na área ORG 3, foram encontradas densidades que variaram de 0,86 a 1,18 Mg m⁻³ (Tabela 22), sendo que na primeira coleta foram encontrados as menores densidade, devido ao preparo do solo com uma grade que, ao desestruturar o solo nessas camadas, aumentou a porosidade e, conseqüentemente, diminuiu a densidade.

Com a implantação do pasto nesta área após a coleta 2, assim como no CON 2, os valores de densidade aumentaram ao longo do tempo, não obtendo diferença entre as coletas 3, 4 e 5 e entre as suas profundidades, provocados pelo pisoteio promovido pelos animais na área; com isso, há uma diminuição da porosidade do solo nos primeiros dez centímetros do solo como visto por Vzzotto et al. (2000); Trein et al. (1991) e Correa e Reichardt (1995).

Tabela 22 – Médias das densidades para área ORG 3

Profundidade ----- m -----	Coleta									
	1		2		3		4		5	
	----- Mg m ⁻³ -----									
0,00 – 0,05	0,98	A b	1,08	B ab	1,16	A a	1,13	A ab	1,10	A ab
0,10 – 0,15	0,86	B b	1,18	A a	1,09	A a	1,09	A A	1,12	A a

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto à profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto à coleta na mesma profundidade.

As densidades entre 0,75 a 1,06 Mg m⁻³ (Tabela 23) encontradas na área do ORG 4 são baixas se considerarmos os intervalos de densidades para solos com textura argilosa entre 0,90 a 1,60 Mg m⁻³ (REICHARDT; TIMM, 2004) e 1,00 a 1,40 Mg m⁻³ (LIBARDI, 2005). Esses valores de densidade ocorrem devido aos altos valores de matéria orgânica (Tabela 14) encontradas neste solo. Na primeira camada, apenas o valor da coleta 1 obteve diferença estatística, sendo o maior valor entre as coletas, podendo ser explicada pelos resquícios da conversão da área em orgânica e a passagem de máquina para a remoção da capoeira que foi realizada alguns meses antes da coleta. Na profundidade de 0,10 – 0,15 m, a coleta 3 e 5 foram as que apresentaram as maiores densidades do solo e a coleta 1 e 4 as de menor valor.

Fazendo a análise entre as camadas na mesma coleta, as de número 2, 3 e 5 apresentaram valores de densidade na camada superficial menores do que a camada subjacente, obtendo diferença estatística exceto a coleta 4. Esse comportamento foi notado sempre em que a área permanecia sob pousio/mato ou apenas mato, mostrando a ação das plantas na estruturação do solo e na sua agregação (MIELNICZUK, 1999), reduzindo assim os valores de densidade do solo.

Tabela 23 – Médias das densidades para área ORG 4

Profundidade	Coleta									
	1		2		3		4		5	
----- m -----	----- Mg m ⁻³ -----									
0,00 – 0,05	1,04	A a	0,75	B b	0,88	B b	0,80	A b	0,76	B b
0,10 – 0,15	0,88	B c	1,01	A ab	1,06	A a	0,95	A bc	1,05	A a

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto à profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto à coleta na mesma profundidade.

A variação dos valores de densidade encontradas na área ORG 5 foi entre 0,71 a 1,05 Mg m⁻³ (Tabela 24), assim como as outras são consideradas densidades baixas. A camada superficial da primeira coleta apresentou a menor densidade do solo dentre todas as coletas, obtendo diferença estatística das outras com exceção da coleta 4 que não apresentou diferença entre as coletas 2 e 3. Analisando entre as profundidades, apenas a coleta 1 apresentou diferença estatística, sendo que a profundidade de 0,00 – 0,05 m obteve menor valor com relação a outra profundidade.

Relacionando os valores de densidade do solo com os manejos implantados em cada coleta, vemos que, na primeira coleta após a retirada da mata em regeneração, a densidade na camada superficial foi a menor, devido ao maior conteúdo de matéria orgânica com relação às outras coletas (Tabela 14). Esse maior valor de matéria orgânica age sobre a agregação do solo, reduzindo a densidade (BRAIDA et al., 2006). Após a retirada da capoeira, os valores de matéria orgânica diminuem, devido ao revolvimento da área para o preparo do solo, acelerando a decomposição da matéria orgânica (SHIPITALO et al., 2000; LLANILLO et al., 2006; MOUSSA-MACHRAOUI, 2010), esta redução do conteúdo da matéria orgânica faz com que as densidades das próximas coletas aumentem na camada superficial.

Tabela 24 – Médias das densidades para área ORG 5

Profundidade ----- m -----	Coleta							
	1		2		3		4	
	----- Mg m ⁻³ -----							
0,00 – 0,05	0,71	B b	0,99	A a	0,96	A a	0,94	A ab
0,10 – 0,15	1,04	A a	0,98	A a	0,88	A a	1,05	A a

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto à profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto à coleta na mesma profundidade.

Como para as outras áreas, a área do ORG 6 apresentou densidades baixas com relação à literatura, variando entre 0,99 a 1,11 Mg m⁻³ (Tabela 25). As densidades ao longo do tempo não apresentaram diferença estatística entre profundidades e nem entre as coletas, talvez pelo pequeno espaço de tempo (seis meses), não foi possível verificar alguma mudança nos valores de densidade em função do tipo de manejo adotado pelo produtor. Essas mudanças são consideradas lentas, exigindo tempo maior para verificar as mudanças significativas em função das práticas agrícolas adotadas no solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Tabela 25 – Médias das densidades para área ORG 6

Profundidade ----- m -----	Coleta					
	1		2		3	
	----- Mg m ⁻³ -----					
0,00 – 0,05	1,07	A a	0,99	A a	1,02	A a
0,10 – 0,15	1,02	A a	1,06	A a	1,11	A a

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto à profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto à coleta na mesma profundidade.

2.3.4 Densidade de partículas e porosidade calculada

As densidades de partículas foram obtidas através da metodologia descrita em materiais e métodos e os valores foram utilizados para o cálculo da porosidade. Como a variação da densidade de partículas é muito pequena (Tabela 26), serão apresentados os valores médios de todas as coletas com seus respectivos desvio padrão e coeficiente de variação para cada área estudada. E em Anexos A e B é possível ver a tabela completa com os valores médios das três repetições de cada profundidade e coleta.

Os valores médios de densidade de partícula dos produtores variaram entre 2,46 a 2,70 Mg m^{-3} . Os valores mais baixos são normalmente explicados pela presença de matéria orgânica, a qual apresenta valores de densidade de 1,30 a 1,50 Mg m^{-3} (LIBARDI, 2005), fazendo com os valores de densidade de partículas sejam mais baixos do que um solo mineral onde a literatura considera um valor médio de 2,65 Mg m^{-3} (REICHARDT; TIM, 2004; LIBARDI, 2005).

Tabela 26 - Valores de desvio padrão, médias e o coeficiente de variação (CV) das densidades de partículas das áreas estudadas

Área	Média	Desvio Padrão	CV
	----- Mg m^{-3} -----	-----	--- % ---
SAF 1	2,53	0,06	2,30
SAF 2	2,46	0,05	1,85
SAF 3	2,49	0,06	2,54
CON 1	2,62	0,02	0,95
CON 2	2,70	0,05	1,98
ORG 1	2,52	0,03	1,37
ORG 2	2,53	0,04	1,56
ORG 3	2,52	0,03	1,15
ORG 4	2,52	0,03	1,10
ORG 5	2,56	0,02	0,89
ORG 6	2,53	0,02	0,65

Vários autores citam a porosidade como um atributo físico indicador da qualidade do solo (SILVA et al., 2011; SANTANA; BAHIA FILHO, 1998; HEIDI, 2011), assim como, é utilizado para verificar alterações no solo em função da mudança do manejo (D'ANDRÉA et al., 2002; SANTANA et al., 2006; MENEZES et al., 2008).

Analisando os três tipos de sistema estudados neste trabalho, nota-se que a porosidade do solo nas áreas foram altas, assumindo valores acima ou próximos do limite superior dos valores de referência para solos argilosos encontrados na literatura, $0,62 - 0,53 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e para classe textural franco de $0,53 - 0,47 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (LIBARDI, 2005). As altas porosidades encontradas neste estudo são compreendidas pelas baixas densidades (Tabelas 15 a 25) apresentadas por todas as áreas dos três sistemas e pelos seus altos valores de matéria orgânica (Tabelas 13 e 14), conferindo a estas áreas altas porosidades.

A porosidade no solo da área SAF 1 obteve valores de porosidade variando de $0,68 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ a $0,61 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na profundidade de $0,00 - 0,05 \text{ m}$ e entre $0,63 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ a $0,59 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na profundidade de $0,10 - 0,15 \text{ m}$ (Tabela 27), semelhante ao encontrado por Carvalho et al. (2004), de $0,67 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para a profundidade de $0,00 - 0,05 \text{ m}$ e de $0,63 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para profundidade de $0,10 - 0,15 \text{ m}$ em Latossolo. O maior valor de porosidade pertencente a coleta 2 na profundidade de $0,00 - 0,05 \text{ m}$ que foi encontrado na área em pousio após preparo do solo. Entretanto, a porosidade na profundidade de $0,10 - 0,15 \text{ m}$ desta mesma coleta foi o menor valor encontrado entre as coletas amostradas, podendo ser explicada talvez pela acomodação deste solo conferindo uma redução na porosidade. As outras coletas apresentaram uma porosidade mais homogênea entre as profundidades, não havendo muita variação entre elas.

de valores de porosidade da primeira coleta de $0,61 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para $0,67 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, $0,70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para as coletas 2, 3 e 4, respectivamente. Na coleta 5 a porosidade permanece alta em função do revolvimento proporcionado pela arado, o qual proporciona o aparecimento de macroporos no solo, na camada trabalhada (GUIMARÃES, 2000).

A porosidade no CON 1 acompanhou o manejo adotado na área, sendo que quando foi plantada a cultura da vagem na primeira coleta a porosidade era de $0,56 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na profundidade de $0,00 - 0,05 \text{ m}$ e $0,55 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na profundidade de $0,10 - 0,15 \text{ m}$, depois desta cultura a área permaneceu em pousio, onde na coleta 2 foi constatado um aumento na porosidade em função da maior presença de raízes do mato presente (Tabela 27). Após este período foi plantado a cultura do milho e no dia da coleta 3 este já havia sido colhido por máquina, com isso houve a redução da porosidade para $0,54 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na primeira profundidade e $0,48 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para a segunda. Na coleta 4 houve o revolvimento do solo, aumentando a porosidade do solo para $0,65 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,58 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para as profundidades de $0,00 - 0,05 \text{ m}$ e $0,10 - 0,15 \text{ m}$ respectivamente. Alguns meses após foi realizado a coleta 5 onde havia a cultura do milho implantada e esta porosidade diminuiu para $0,63 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na camada mais superficial e $0,56 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para a outra camada.

Assim como no CON 1, o CON 2 apresentou valores de densidade alto (Tabela 27), pois na pastagem há uma diminuição da porosidade do solo em função do pisoteio dos animais na área (VZZOTTO et al., 2000; MARCHEZAN et al., 1998). Na coleta 1 houve o preparo da área com uma grade, aumentando a porosidade do solo para $0,65 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na profundidade de $0,00 - 0,05 \text{ m}$. Com o passar do tempo e a inclusão de animais na área a porosidade reduziu passando para valores de $0,59 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, $0,59 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,56 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para as coletas 2, 3 e 4, respectivamente.

Os sistemas convencionais, em geral, apresentaram valores menores de porosidade com relação aos SAFs, variando entre $0,65 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ a $0,54 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na profundidade de $0,00 - 0,05 \text{ m}$ e de $0,61 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ a $0,48 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na profundidade de $0,10 - 0,15 \text{ m}$, mas mesmo assim, estes valores são semelhantes ou mais altos do que os encontrados por Bilibio et al. (2010), que obtiveram $0,48 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na profundidade de $0,00 - 0,05 \text{ m}$ e $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na profundidade de $0,05 - 0,15 \text{ m}$, Carvalho et al. (2004), apresentaram valores de $0,56 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na profundidade $0,00 - 0,05 \text{ m}$ e $0,53 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na profundidade $0,10 - 0,15 \text{ m}$ e Aguiar et al. (2010), obtiveram

como porosidade na profundidade 0,00 – 0,10 m valor de $0,46 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na profundidade de 0,10 – 0,20 m.

Os sistemas orgânicos não diferiram dos outros sistemas com relação à porosidade, que apresentaram valores altos em todas as coletas e profundidades (Tabela 28). No geral a porosidade variou de $0,72 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ a $0,52 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,67 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ a $0,46 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ nas profundidades de 0,00 – 0,05m e 0,10 – 0,15 m, respectivamente.

Tabela 28 – Média dos valores de porosidade para os sistemas orgânicos

Coleta	Profundidade	Orgânicos					
		ORG 1	ORG 2	ORG 3	ORG 4	ORG 5	ORG 6
		Porosidade					
		$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$					
1	0,00 – 0,05	0,60	0,67	0,61	0,58	0,72	0,58
	0,10 – 0,15	0,54	0,46	0,67	0,67	0,60	0,60
2	0,00 – 0,05	0,63	0,59	0,57	0,71	0,61	0,61
	0,10 – 0,15	0,61	0,49	0,53	0,60	0,62	0,59
3	0,00 – 0,05	0,62	0,52	0,54	0,66	0,63	0,60
	0,10 – 0,15	0,61	0,57	0,57	0,58	0,66	0,56
4	0,00 – 0,05	0,57	0,57	0,55	0,68	0,63	...
	0,10 – 0,15	0,59	0,55	0,57	0,62	0,60	...
5	0,00 – 0,05	0,65	0,62	0,55	0,69	...	...
	0,10 – 0,15	0,59	0,53	0,55	0,58	...	...

Na área ORG 1 a maior porosidade foi encontrada na coleta 5 com o valor de $0,65 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na profundidade de 0,00 – 0,05 m (Tabela 28), devido à presença de mato na área e os benefícios do adubo verde plantado anteriormente aumentando a porosidade que era de $0,57 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na coleta 4 onde neste período havia o adubo verde consorciado com couve flor. Tendências semelhantes foram observados por Alves et al. (2007). Na coleta 1 onde havia a cultura do tomate e abóbora com mato, a porosidade foi de $0,60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na superfície e de $0,54 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na profundidade de

0,10 – 0,15 m, passando para $0,63 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,61 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na coleta 2 quando a cultura implantada permanecia o tomate com mato nas entre linhas e $0,62 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,61 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na coleta 3 com o plantio do adubo verde e uma parte da área capinada.

A coleta 1 apresentou a maior porosidade para a área ORG 2, devido a área ter sido preparada recentemente (Tabela 28), aumentando sua porosidade para $0,67 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na profundidade de 0,00 – 0,05 m e uma porosidade mais baixa na profundidade de 0,10 – 0,15 m de $0,46 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Após alguns meses, essa área foi preparada novamente com o auxílio de uma grade e sua porosidade decresceu para $0,59 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na primeira profundidade e de $0,49 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para a segunda, talvez pela época de preparo (dezembro de 2009), não favoreceu o aumento na porosidade pela alta pluviosidade, aumentando a umidade do solo e diminuindo a porosidade. A terceira coleta foi realizada com a área coberta por mato, entretanto nesta área, havia a cultura do tomate anteriormente, o qual exige que o agricultor ande pela área para os tratos culturais e a colheita, reduzindo assim a porosidade do solo, que passou a ter o valor de $0,52 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,57 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ nas profundidades de 0,00 – 0,05 e 0,10 – 0,15 m, respectivamente. Após esta coleta, houve o plantio de adubo verde, que contribui no aumento da porosidade do solo pela ação das suas raízes (NICOLOSO et al., 2008) onde favorece o aumento da porosidade na coleta 4, mas que foi mais expressiva na coleta 5 onde a porosidade passou de $0,57 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para $0,65 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na profundidade de 0,00 – 0,05 m nas coletas 4 e 5, respectivamente.

A área de pastagem ORG 3 obteve uma alta porosidade na primeira coleta devido ao preparo com grade nesta área, aumentando sua porosidade (Tabela 28). Logo após, na coleta seguinte a porosidade começa a diminuir, passando de $0,61 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,67 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na coleta 1 para $0,57 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,53 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na coleta 2 nas profundidades de 0,00 – 0,05 e 0,10 – 0,15 m, respectivamente. Após estas duas coletas o pasto começou a ser usado e suas porosidades diminuem nas coletas 3, 4 e 5 com relação as duas primeiras coletas. Esta redução está relacionada ao pisoteio animal na área, que reduz a porosidade na superfície, como visto nos dados de porosidade na profundidade de 0,10 – 0,15 m que obteve maior porosidade em relação a camada superficial nestas coletas, corroborando com os trabalhos de Vzzotto et al. (2000) e Marchezan et al. (1998).

A menor porosidade encontrada na superfície na área ORG 4 foi na coleta 1 (Tabela 28), com o valor de $0,58 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, neste período havia a cultura do tomate e milho. Após estas culturas, a área permaneceu em pousio e sua porosidade

aumentou com a presença de mato na área. Este mato produz raízes que trazem benefícios à estruturação do solo e maior estabilidade aos agregados (SILVA; MIELNICZUK, 1997), favorecendo o aumento da porosidade na camada superficial. No período seguinte, na coleta 3, a porosidade diminuiu para $0,66 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na profundidade de 0,00 – 0,05 m provavelmente pelos tratos culturais e pela colheita do milho, mas esta porosidade aumenta nas coletas 4 e 5 pelo pequeno revolvimento causado pela enxada na superfície e depois devido ao pousio estabelecido na área.

Após a retirada da capoeira presente na área ORG 5, foi realizada a coleta 1, onde encontramos valores de porosidade de $0,72 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na profundidade de 0,00 – 0,05 m (Tabela 28), sendo a maior encontrada dentro desta área. As árvores retiradas desempenhavam um papel importante na proteção do solo da ação das gotas de chuva, manutenção dos teores de matéria orgânica e melhoria dos atributos físicos do solo (YOUNG, 1997). A coleta 2 apresentou valor de porosidade de $0,61 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na camada superficial, sendo que nesta coleta o solo estava sendo cultivado com a cultura do tomate. Nas coletas subsequentes houve um aumento na porosidade do solo na camada superficial ao longo do tempo, passando de $0,63 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na coleta 3 que produziu as culturas de feijão, couve flor chegando até a coleta 4 com $0,63 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ com a área em pousio.

A coleta 1 da área ORG 6, a porosidade foi de $0,58 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na profundidade de 0,00 – 0,05 e 0,10 – 0,15 m respectivamente (Tabela 28), neste período o solo estava em pousio com mato. Na coleta 3 a porosidade com a implantação da cultura do feijão e o plantio consorciado de nabo forrageiro aumentou sendo que os valores foram de $0,61 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,59 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ nas mesmas profundidade. Com uma pequena redução na porosidade na profundidade de 0,00 – 0,05 e de 0,10 – 0,15 m a coleta 3 possuía a cultura do milho consorciada com abobora, obtendo uma porosidade de $0,60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e na outra profundidade $0,56 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

2.3.5 Micromorfologia

O estudo da porosidade e a sua caracterização morfológica são fundamentais para compreender o funcionamento físico-hídrico do solo, pois pode definir a produtividade das culturas, visto que Influência diretamente nos fenômenos de armazenamento e movimento de água, além de movimentos dos gases e

penetração de raízes (LAWRENCE, 1977). Sendo assim, a porosidade do solo pode ser considerada como um bom indicador da qualidade física (PAGLIAI; VIGNOZZI, 2002). A medição da distribuição e o tamanho dos poros são importantes para avaliar as possíveis modificações na estrutura, justificando a sua caracterização (PAGLIAI, 1987). Entretanto, a estrutura do solo é difícil de ser definida ou quantificada (SOUTHORN, 2002), sendo a estimativa da distribuição dos tamanhos e dos tipos de poros um importante parâmetro.

A porosidade em todas as áreas estudadas independentemente do sistema adotado apresentaram valores menores do que os valores de porosidade calculada, devido às dimensões estudadas em cada técnica (Tabelas 27 a 39). Na micromorfologia, o solo é estudado em imagens bidimensionais (MORAN et al., 1988), as quais podem ser relacionadas as três dimensões (RINGROSE-VOASE; BULLOCK, 1984) da porosidade calculada ou até mesmo comparadas com as medidas volumétricas do conteúdo ou retenção de água no solo (BULLOCK; THOMASSON, 1979). Além disso, na análise de imagens só são contabilizados os macro e mesoporos.

Em geral, para todas as coletas e todas as profundidades das áreas estudadas, verificou-se o predomínio dos poros do tipo complexo na classe de tamanho grande (Figura 08 a 16), sendo responsáveis em sua maioria pela maior porcentagem da porosidade do solo. O restante da porosidade é representada pelos poros do tipo arredondado, alongado e complexos de tamanho pequeno assim como formado também por poros do tipo complexo de tamanho médio podendo às vezes possuir neste tamanho poros alongados. A seguir vemos com mais detalhes a porosidade de cada sistema estudado, com a distribuição de tipo e tamanho de poros.

A coleta 2 do SAF1 na profundidade de 0,00 – 0,12 m não obteve diferença significativa com relação as coletas 1 e 3 que possuem os menores valores de porosidade, assim como, para as coletas 4 e 5 que apresentaram os maiores valores (Tabela 29). Na profundidade de 0,12 – 0,24 m foi a coleta 5 que não apresentou diferença estatística entre as coletas 1, 2 e 4, as quais possuem os maiores valores de porosidade e a coleta 3, o menor valor.

Analisando entre as profundidades do SAF1, as coletas 3, 4 e 5 apresentaram valores de porosidade maior na superfície do que na subsuperfície, obtendo diferença estatística. Na coleta 1 houve uma inversão com relação as outras coletas,

o valor da superfície foi menor do que a subsuperfície, sendo esta diferença significativa. Apenas a coleta 2 não obteve diferença estatística entre suas profundidades, devido ao preparo do solo com a grade ter homogeneizado estas duas profundidades.

Tabela 29 – Valores médios da porosidade na área Sistema agroflorestal 1

Profundidade	Coleta									
	1		2		3		4		5	
--- m ---	----- % -----									
0,00 – 0,12	18,98	B b	25,91	A ab	23,03	A b	33,75	A a	31,73	A a
0,12 – 0,24	22,26	A a	26,12	A a	16,06	B b	24,23	B a	20,45	B ab

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto a profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto a coleta na mesma profundidade.

Com relação à distribuição dos poros do SAF1, a coleta 1 apresentou uma maior porcentagem de poros do tipo complexo de tamanho grande (Figura 8), que são responsáveis pela drenagem da água no solo. Em contrapartida, os poros do tipo arredondado, alongado e complexo do tamanho pequeno, que são responsáveis pela retenção de água no solo, contribuem com menor porcentagem na composição da porosidade, assim como os complexos médios para ambas as profundidades.

Na coleta 2 há um aumento da porosidade em ambas as profundidades, assim como visto na porosidade calculada (Tabela 27). A participação dos poros complexos grandes aumentou e a proporção dos outros tipos de poros e seus respectivos tamanhos foram mantidos.

Na coleta 3 há uma redução na porosidade de ambas as profundidades estudadas, principalmente na camada subsuperficial, esta redução foi representada pela diminuição dos poros complexos grandes e redução dos poros alongados pequenos. Diferentemente, na coleta 4 e 5 as quais foram as coletas que apresentaram as maiores porosidades entre a camada superficial (33,76% e 31,73% respectivamente), houve aumento na porosidade do solo nas duas camadas com o aumento principalmente dos poros complexos.

Figura 8 - Distribuição da porosidade total (PT) para a área SAF 1, segundo a forma (arredondados; alongados; complexos) e o tamanho dos poros (diâmetro: pequeno - 12,49 – 124,90 μm ; médio - 124,90 – 394,97 μm ; grande - >394,97 μm)

Figura 8 - Distribuição da porosidade total (PT) para a área SAF 1, segundo a forma (arredondados; alongados; complexos) e o tamanho dos poros (diâmetro: pequeno - 12,49 – 124,90 μm; médio - 124,90 – 394,97 μm; grande - >394,97 μm)

As maiores porosidades da área SAF 2 na profundidade de 0,00 – 0,12 m foram encontradas nas coletas 1, 2 e 4, estas porosidades não obtiveram diferença estatística significativa entre si, apenas com relação as coletas 3 e 5 que foram as menores porosidades encontradas (Tabela 30). Na profundidade de 0,12 – 0,24 m houve uma grande variação entre as coletas ao longo do tempo, sendo de destaque a coleta 4 com a maior porosidade e a coleta 3 com a menor.

Todas as coletas com exceção da coleta 5, apresentaram diferença estatística entre as profundidade dentro de cada coleta, sendo que a maior porosidade foi encontrada na profundidade de 0,00 – 0,12 m.

Tabela 30 – Valores médios da porosidade na área Sistema agroflorestal 2

Profundidade --- m ---	Coleta									
	1		2		3		4		5	
	----- % -----									
0,00 – 0,12	37,67	A ab	41,14	A a	32,45	A bc	44,28	A a	27,01	A c
0,12 – 0,24	24,96	B bc	28,88	B ab	20,17	B d	31,81	B a	21,60	A cd

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto a profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto a coleta na mesma profundidade.

Observou-se na coleta 1, 2, 5 e principalmente na 3 do SAF2, uma modificação na distribuição dos poros entre as profundidade de 0,00 – 0,12 m e 0,12 – 0,24 m (Figura 9), onde na primeira profundidade são observados um predomínio dos poros do tipo complexo grande, que formam a maior porcentagem da porosidade total, menor porcentagem de poros alongados e arredondados pequenos e uma inexpressiva participação dos poros de tamanho médio, conferindo a esta profundidade uma condutividade hidráulica alta, como veremos no próximo item. No entanto, a segunda profundidade há uma redução dos poros do tipo complexo grande e um aumento nos poros alongados e arredondados pequenos, alterando o comportamento do solo entre a superfície e subsuperfície passando de uma camada que apresenta boa condução para outra com maior capacidade de retenção de água, provavelmente beneficiando a cultura do milho na coleta 1 e as outras culturas presentes na área nas demais coletas. Na coleta 4 existe também uma redução da participação dos poros complexos grandes da primeira profundidade para a segunda, mas no entanto, esta redução não foi pronunciada como nas outras já mencionadas devido ao maior valor da porosidade nesta coleta.

Coleta 1

Coleta 1

Coleta 2

Coleta 2

Coleta 3

Coleta 3

Figura 9 - Distribuição da porosidade total (PT) para a área SAF 2, segundo a forma (arredondados; alongados; complexos) e o tamanho dos poros (diâmetro: pequeno - 12,49 – 124,90 μm; médio - 124,90 – 394,97 μm; grande - >394,97 μm)

Figura 9 - Distribuição da porosidade total (PT) para a área SAF 2, segundo a forma (arredondados; alongados; complexos) e o tamanho dos poros (diâmetro: pequeno - 12,49 – 124,90 μm; médio - 124,90 – 394,97 μm; grande - >394,97 μm)

Analisando a Tabela 31, nota-se que as coletas 1 e 2 na profundidade de 0,00 – 0,12 m obtiveram os menores valores de porosidade, não obtendo diferença estatística entre si, mas sim entre as outras coletas. Nesta mesma profundidade a coleta 3 foi a que apresentou a maior porosidade ao longo do tempo, obtendo 52,76%, sendo significativa a diferença com as demais. As coletas 4 e 5 não apresentaram diferença estatística entre si.

Com relação à profundidade de 0,12 – 0,24 m houve uma alta variação dos valores de porosidade entre as coletas, sendo que cada uma delas obtiveram diferença estatística entre todos os outros valores, destacando a coleta 3 que obteve o maior valor de porosidade e a coleta 2 com o menor valor.

Com exceção da coleta 1, as demais coletas apresentaram diferença estatística entre as profundidades analisadas, sendo que a profundidade de 0,00 – 0,12 m foi a que obteve os maiores valores com relação a profundidade de 0,12 – 0,24 m.

Tabela 31 – Valores médios da porosidade na área Sistema agroflorestal 3

Profundidade	Coleta									
	1		2		3		4		5	
--- m ---	----- % -----									
0,00 – 0,12	28,74	A c	31,81	A c	52,76	A a	45,04	A b	42,54	A b
0,12 – 0,24	26,78	A d	20,29	B e	45,28	B a	40,36	B b	31,51	B c

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto a profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto a coleta na mesma profundidade.

Observando a Figura 10 com os gráficos da distribuição dos poros do SAF 3, observa-se que as duas primeiras coletas apresentam uma distribuição de poros para a profundidade 0,00 – 0,12 m semelhante, sendo que, há uma maior contribuição dos poros complexos grandes e menor dos poros arredondados, alongados e complexos pequenos. Na profundidade 0,12 – 0,24 m há uma redução da contribuição dos poros complexos grandes, e um aumento da participação dos poros arredondados, alongados e complexos pequenos nestas coletas, aumentando o poder de retenção de água no solo principalmente na coleta 2.

Nas demais coletas para ambas as profundidades, a porosidade do solo é composta por maior participação dos poros complexos grandes com relação aos poros arredondados e alongados pequenos, mostrando uma alta capacidade de condução de água por este solo neste período.

Esperava-se que nesta área a porosidade aumentasse ao longo do tempo, assim como ocorreu com a porosidade calculada, por conta do mato presente na área, que confere maior presença de raízes e também pelo maior acúmulo de matéria orgânica desde a coleta 1 até a coleta 5. A ausência do resultado esperado

pode ser explicada pelo número pequeno de repetições amostradas para a análise de imagem, não sendo suficiente para sinalizar esta tendência.

Figura 10 - Distribuição da porosidade total (PT) para a área SAF 3, segundo a forma (arredondados; alongados; complexos) e o tamanho dos poros (diâmetro: pequeno - 12,49 – 124,90 μm; médio - 124,90 – 394,97 μm; grande - >394,97 μm)

Figura 10 - Distribuição da porosidade total (PT) para a área SAF 3, segundo a forma (arredondados; alongados; complexos) e o tamanho dos poros (diâmetro: pequeno - 12,49 – 124,90 μm ; médio - 124,90 – 394,97 μm ; grande - >394,97 μm)

O sistema CON 1 apresentou uma crescente na porosidade ao longo do tempo na profundidade de 0,00 – 0,12 m, passando de 25,58% na primeira coleta até atingir 51,63% na coleta 5 (Tabela 32). A estatística conseguiu diferenciar estas duas coletas entre si e entre as demais coletas, que permaneceram em um grupo de porosidades intermediárias.

Na segunda profundidade estudada, houve uma variação dos valores de porosidade entre as coletas, não apresentando a mesma tendência de aumento ao longo do tempo como na primeira profundidade. Destaque para a coleta 5, que apresentou a maior porosidade nesta profundidade, assim como na profundidade de 0,00 – 0,12 m.

As coletas 2, 3 e 5 apresentaram diferença estatística entre as profundidades em cada coleta, sendo que a superfície obteve maior valor com relação a profundidade de 0,12 – 0,24 m, diferentemente as coletas 1 e 4 que não houve diferença estatística entre suas profundidades.

Tabela 32 – Valores médios da porosidade na área Convencional 1

Profundidade	Coleta									
	1		2		3		4		5	
	--- m ---					----- % -----				
0,00 – 0,12	25,58	A d	39,57	A bc	32,21	A cd	44,69	A ab	51,63	A a
0,12 – 0,24	28,65	A ab	24,68	B bc	21,12	B c	22,67	A bc	32,76	B a

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto a profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto a coleta na mesma profundidade.

A distribuição dos poros na profundidade de 0,00 – 0,12 m mostra o predomínio dos poros complexos grandes. Este predomínio ocorre à medida em que a porosidade aumenta com o passar do tempo, sendo que na coleta 5 houve a maior participação deste tipo de poro e na coleta 1 a menor (Figura 11). Seguindo sentido contrário os poros arredondados e alongados pequenos diminuem sua contribuição na porosidade a medida que ela aumenta. Comportamento semelhante foi visto nos poros complexos médios, onde o aumento da porosidade diminui a participação na porosidade, chegando até mesmo a desaparecer a partir da coleta 4.

Na profundidade de 0,12 – 0,24 m há uma redução da porosidade e da contribuição dos poros complexos grandes, em contrapartida, há um aumento da contribuição dos poros arredondados e alongados pequenos na porosidade do solo em relação a profundidade de 0,00 – 0,12 m.

Coleta 1

Coleta 1

Coleta 2

Coleta 2

Coleta 3

Coleta 3

Figura 11 - Distribuição da porosidade total (PT) para a área CON 1, segundo a forma (arredondados; alongados; complexos) e o tamanho dos poros (diâmetro: pequeno - 12,49 – 124,90 μm ; médio - 124,90 – 394,97 μm ; grande - >394,97 μm)

Figura 11 - Distribuição da porosidade total (PT) para a área CON 1, segundo a forma (arredondados; alongados; complexos) e o tamanho dos poros (diâmetro: pequeno - 12,49 – 124,90 μm ; médio - 124,90 – 394,97 μm ; grande - >394,97 μm)

A porosidade na área do CON 2 foi baixa em todas as coletas na profundidade de 0,00 – 0,12 m, onde sua maior porosidade foi na coleta 4 com 22,89% e a menor na coleta 3 com 18,52%, sendo que entre todas as coletas não houve diferença estatística (Tabela 33).

Na profundidade de 0,12 – 0,24 m houve maior variação entre as porosidade ao longo do tempo, sendo a coleta 1 com menor porosidade e a coleta 2 com a maior. Todas elas tiveram diferença estatística entre si, com exceção da coleta 4 que não apresentou diferença significativa para as coletas 1 e 3.

Analisando entre as profundidades de cada coleta, notamos que as coletas 2 e 3 apresentaram diferença estatística. Onde os valores da profundidade de 0,00 – 0,12 foram menores do que os valores da profundidade 0,12 – 0,24 m, devido ao

pisoteio dos animais na área, reduzindo assim a porosidade do solo na superfície (VZZOTTO et al., 2000; MARCHEZAN et al., 1998). As demais coletas (1 e 4) não apresentaram diferença estatística entre as profundidades.

Esperava-se que, na coleta 1, a porosidade fosse a maior entre todas as coletas em ambas as profundidades, devido ao preparo que a área sofreu por uma grade, mas ela não apresentou esta diferença, sendo consideradas semelhante as outras na profundidade de 0,00 – 0,12 m e a menor entre a profundidade de 0,12 – 0,24 m, devido talvez a falta de mais repetições na amostragem para a micromorfologia.

Tabela 33 – Valores médios da porosidade na área Convencional 2

Profundidade --- m ---	Coleta							
	1		2		3		4	
	----- % -----							
0,00 – 0,12	19,16	A a	18,74	B a	18,52	B a	22,89	A a
0,12 – 0,24	15,70	A c	30,58	A a	22,86	A b	19,98	A bc

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto a profundidade na mesma coleta,
Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto a coleta na mesma profundidade,

A área do CON 2 por ser uma pastagem, apresentou menores valores de porosidade na superfície do solo, apresentando nestes casos uma distribuição mais homogênea dos poros (Figura 12). Apesar desta maior homogeneidade, a distribuição de poros ainda consiste no predomínio dos complexos grandes, que são intensificados com o aumento da porosidade, mas quando a porosidade diminui a participação dos poros arredondados e alongados pequenos ganham importância na composição da porosidade.

Coleta 1

Coleta 1

Coleta 2

Coleta 2

Coleta 3

Coleta 3

Figura 12 - Distribuição da porosidade total (PT) para a área CON 2, segundo a forma (arredondados; alongados; complexos) e o tamanho dos poros (diâmetro: pequeno - 12,49 – 124,90 µm; médio - 124,90 – 394,97 µm; grande - >394,97 µm)

Figura 12 - Distribuição da porosidade total (PT) para a área CON 2, segundo a forma (arredondados; alongados; complexos) e o tamanho dos poros (diâmetro: pequeno - 12,49 – 124,90 μm; médio - 124,90 – 394,97 μm; grande - >394,97 μm)

Analisando a Tabela 34 vemos que na área do ORG 1 a porosidade aumenta ao longo do tempo para ambas as profundidades. Na profundidade de 0,00 – 0,12 m a coleta 1 apresentou porosidade de 23,99%, sendo a menor porosidade encontrada entre as coletas e obteve diferença estatística entre as demais. Assumindo valores de porosidades intermediárias nesta área, ficaram as coletas 2, 3 e 4, que não apresentaram diferença estatística entre si. No entanto, a coleta 5 apresentou o maior valor de porosidade entre as coletas desta profundidade (47,93%), concordando com o maior valor de matéria orgânica encontrada neste solo.

As coletas 1, 2 e 3 na profundidade de 0,12 – 0,24 m foram agrupadas pela estatística como os menores valores da porosidade, passando para as coletas 4 e 5 como um outro grupo com porosidade maiores.

Em todas as coletas com exceção da coleta 4 que não apresentou diferença significativa entre as profundidades, a maior porosidade foi encontrada em 0,00 – 0,12 m quando comparada com a profundidade de 0,12 – 0,24 m, apresentando diferença estatística entre elas.

Tabela 34 – Valores médios da porosidade na área Orgânico 1

Profundidade --- m ---	Coleta									
	1		2		3		4		5	
	----- % -----									
0,00 – 0,12	23,99	A c	32,53	A b	37,01	A b	38,01	A b	47,93	A a
0,12 – 0,24	22,25	B b	23,93	B b	22,36	B b	37,44	A a	34,92	B a

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto a profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto a coleta na mesma profundidade.

Com o aumento da porosidade do solo mostrado pela análise de imagem para a área do ORG1, a distribuição de poros se modifica ao longo do tempo. Esta modificação consiste no aumento da contribuição dos poros complexos grandes para ambas as profundidades ao longo do tempo (Figura 13). Assim como já observado para outras áreas neste estudo, os poros arredondados e alongados pequenos diminuem sua contribuição com o aumento da porosidade.

Este aumento ao longo do tempo nesta área é devido aos sucessivos plantios de adubo verde e a constante presença de mato, os quais com suas raízes favorecem a formação de agregados e de poros grandes no solo.

Coleta 1

Coleta 1

Coleta 2

Coleta 2

Coleta 3

Coleta 3

Figura 13 - Distribuição da porosidade total (PT) para a área ORG 1, segundo a forma (arredondados; alongados; complexos) e o tamanho dos poros (diâmetro: pequeno - 12,49 – 124,90 µm; médio - 124,90 – 394,97 µm; grande - >394,97 µm)

Figura 13 - Distribuição da porosidade total (PT) para a área ORG 1, segundo a forma (arredondados; alongados; complexos) e o tamanho dos poros (diâmetro: pequeno - 12,49 – 124,90 μm ; médio - 124,90 – 394,97 μm ; grande - >394,97 μm)

A porosidade na área do ORG 2 apresentou variação nos valores de porosidade para ambas as profundidades, não apresentando tendência de aumento ou redução da porosidade ao longo do tempo. Na profundidade de 0,00 – 0,12 m a maior porosidade foi encontrada na coleta 5, a qual não obteve diferença estatística significativa com as coletas 2 e 4, mas apresentou diferença estatística entre as outras coletas. A coleta 3 apresentou a menor porosidade entre as coletas, apresentando diferença estatística entre as demais coletas (Tabela 35).

A mesma variação foi encontrada na profundidade de 0,12 – 0,24 m, onde as coletas 4 e 5 apresentaram maiores valores de porosidade e não apresentaram diferença estatística entre si, apenas com relação as outras coletas. A coleta 2 não obteve diferença estatística significativa entre as coletas 1 e 3 que apresentaram

valores de 24,47% e 17,99%, respectivamente, e foram diferentes entre si pela estatística.

Analisando a porosidade entre as profundidades, nota-se que as coletas 1, 2 e 5 obtiveram diferença estatística, sendo que os valores na profundidade de 0,00 – 0,12 m foram maiores do que os valores da profundidade de 0,12 – 0,24 m, diferentemente, nas coletas 3 e 4 essas diferenças não foram significativas

Tabela 35 – Valores médios da porosidade na área Orgânico 2

Profundidade --- m ---	Coleta									
	1		2		3		4		5	
	----- % -----									
0,00 – 0,12	31,64	A b	38,02	A ab	16,60	A c	34,29	A ab	38,21	A a
0,12 – 0,24	24,47	B b	18,64	B bc	17,99	A c	33,57	A a	30,48	B a

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto a profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto a coleta na mesma profundidade.

A variação vista nos valores da porosidade na área do ORG 2, também foi vista na análise de imagens (Figura 14). As coletas 1, 2, 4 e 5 na profundidade 0,00 – 0,12 m e as coletas 4 e 5 na profundidade de 0,12 – 0,24 m, as quais apresentaram valores de porosidade maior, apresentaram participação maior dos poros complexos grandes na porosidade do solo e menor dos poros arredondados e alongados pequenos. Entretanto, nas coletas onde a porosidade foi menor, houve redução dos poros complexos grandes e maior contribuição dos poros arredondados e alongados pequenos na porosidade do solo.

As amostras com maior porosidade do solo foram as que sofreram preparo do solo mecanicamente (Coletas 1 e 2) ou, então, se beneficiaram da implantação de adubo verde ou o estado de pousio da área (Coleta 4 e 5). Mostrando que o manejo adotado nesta área teve fator importante na distribuição dos poros.

Coleta 1

Coleta 1

Coleta 2

Coleta 2

Coleta 3

Coleta 3

Figura 14 - Distribuição da porosidade total (PT) para a área ORG 2, segundo a forma (arredondados; alongados; complexos) e o tamanho dos poros (diâmetro: pequeno - 12,49 – 124,90 μm ; médio - 124,90 – 394,97 μm ; grande - >394,97 μm)

Figura 14 - Distribuição da porosidade total (PT) para a área ORG 2, segundo a forma (arredondados; alongados; complexos) e o tamanho dos poros (diâmetro: pequeno - 12,49 – 124,90 μm ; médio - 124,90 – 394,97 μm ; grande - >394,97 μm)

A área ORG 3 apresentou baixas porosidades em suas coletas em ambas as profundidades (Tabela 36). Na profundidade de 0,00 – 0,12 m houve a divisão em 3 grupos de porosidade, sendo que em cada grupo as coletas não obtiveram diferença estatística entre si. No primeiro grupo com as porosidades maiores estão as coletas 1 e 4, num segundo grupo com porosidades intermediárias as coletas 2 e 5 e por último com os menores valores de porosidade a coleta 3. Na profundidade de 0,12 – 0,24 m somente a coleta 3 apresentou o menor valor de porosidade o qual obteve diferença estatística significativa entre as demais coletas.

Fazendo uma análise entre as profundidades, a coleta 4 foi a única que apresentou diferença estatística, as demais coletas apesar da diferença, estas não foram significativas.

Tabela 36 – Valores médios da porosidade na área Orgânico 3

Profundidade --- m ---	Coleta									
	1		2		3		4		5	
	----- % -----									
0,00 – 0,12	27,44	A ab	24,45	A b	16,55	A c	31,64	A a	23,81	A b
0,12 – 0,24	23,91	A a	23,50	A a	15,27	A b	25,11	B a	22,32	A a

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto a profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto a coleta na mesma profundidade.

Por apresentar porosidades baixas, assim como a pastagem do CON 2, a distribuição dos poros foi mais homogênea (Figura 15). Mesmo assim, onde a porosidade foi maior os poros complexos grandes foram responsáveis pela maior porosidade, sendo completada com os poros arredondados e alongados pequenos e também por poucos poros complexos médios. Na coleta 3 na profundidade de 0,12 – 0,24 m a distribuição dos tamanhos de poros foi semelhante entre os poros pequenos e grandes, devido a baixa porosidade nesta coleta.

Coleta 1

Coleta 1

Coleta 2

Coleta 2

Coleta 3

Coleta 3

Figura 15 - Distribuição da porosidade total (PT) para a área ORG 3, segundo a forma (arredondados; alongados; complexos) e o tamanho dos poros (diâmetro: pequeno - 12,49 – 124,90 µm; médio - 124,90 – 394,97 µm; grande - >394,97 µm)

Figura 15 - Distribuição da porosidade total (PT) para a área ORG 3, segundo a forma (arredondados; alongados; complexos) e o tamanho dos poros (diâmetro: pequeno - 12,49 – 124,90 μm; médio - 124,90 – 394,97 μm; grande - >394,97 μm)

As coletas 2, 3 e 5 no ORG 4 não obtiveram diferença estatística entre seus valores de porosidade na profundidade de 0,00 – 0,12 m, assim como, também não apresentaram diferença entre a coleta 1, que obteve o menor valor de porosidade, e nem com relação a coleta 4 que apresentou a maior valor ao longo do tempo. Somente as coletas 1 e 4 apresentaram diferença estatística entre seus valores de porosidade nesta profundidade (Tabela 37).

Na profundidade 0,12 – 0,24 m a coleta 4 continuou com valor alto de porosidade, obtendo diferença estatística entre as demais coletas, exceto a coleta 2, onde a diferença não foi significativa para separar estes dois valores. No entanto, as coletas 1 e 3 apresentaram valores baixos de porosidade e juntamente com a coleta 5 não obtiveram diferença estatística significativa entre si.

Analisando a Tabela 37, vemos que em todas as coletas houve diferença estatística entre as profundidades de cada coleta, sendo que na profundidade de 0,00 – 0,12 m os valores de porosidade foram maiores do que na profundidade de 0,12 – 0,24 m, como esperado em função de maior valor de matéria orgânica na superfície dos solos.

Tabela 37 – Valores médios da porosidade na área Orgânico 4

Profundidade --- m ---	Coleta									
	1		2		3		4		5	
	----- % -----									
0,00 – 0,12	38,99	A b	41,76	A ab	42,29	A ab	47,56	A a	46,46	A ab
0,12 – 0,24	31,58	B c	35,91	B ab	31,03	B c	37,30	B a	32,24	B bc

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto a profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto a coleta na mesma profundidade.

O solo na área ORG 4, apresenta em sua distribuição de poros, participação em maior porcentagem dos poros complexos grandes para ambas as profundidades. Assim como, menor porcentagem de poros arredondados e alongados pequenos e complexos médios, os quais completam a porosidade do solo (Figura 16).

Estes valores de porosidade pela análise de imagens, corroboram com os valores de porosidade total calculada e com as densidades encontradas. Para ambas as coletas a porosidade total foi elevada e suas densidades baixas em todas as profundidades abrangidas pela amostragem.

Coleta 1

Coleta 1

Coleta 2

Coleta 2

Coleta 3

Coleta 3

Figura 16 - Distribuição da porosidade total (PT) para a área ORG 4, segundo a forma (arredondados; alongados; complexos) e o tamanho dos poros (diâmetro: pequeno - 12,49 – 124,90 μm ; médio - 124,90 – 394,97 μm ; grande - >394,97 μm)

Figura 16 - Distribuição da porosidade total (PT) para a área ORG 4, segundo a forma (arredondados; alongados; complexos) e o tamanho dos poros (diâmetro: pequeno - 12,49 – 124,90 μm ; médio - 124,90 – 394,97 μm ; grande - >394,97 μm)

As coletas 1, 2 e 4 da área ORG 5 possuem valores de porosidade na profundidade 0,00 – 0,12 m de 31,29%, 31,23% e 34,77% respectivamente, estes valores não obtiveram diferença estatística significativa entre si, mas apresentaram diferença estatística significativa com relação a coleta 3 que foi a maior porosidade encontrada nesta profundidade, apresentando valor de 45,75% (Tabela 38).

Na profundidade 0,12 – 0,24 m a coleta 3 apresentou a maior porosidade com 42,47% apresentando diferença estatística com relação as coletas 2 e 4 que apresentaram porosidades de 34,13% e 36,15%, respectivamente, e por sua vez da coleta 1 que obteve a menor porosidade com 24,60%.

Apenas a coleta 1 apresentou diferença estatística entre as profundidades dentro da coleta, sendo que a profundidade 0,00 – 0,12 m foi maior do que a de 0,12

– 0,24 m. As demais coletas não apresentaram diferença estatística significativa entre suas respectivas profundidades.

Tabela 38 – Valores médios da porosidade na área Orgânico 5

Profundidade --- m ---	Coleta							
	1		2		3		4	
	----- % -----							
0,00 – 0,12	31,29	A b	31,23	A b	45,75	A a	34,77	A b
0,12 – 0,24	24,60	B c	34,13	A b	42,47	A a	36,15	A b

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto a profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto a coleta na mesma profundidade.

Os poros do tipo complexos grandes predominam na porosidade apresentada por todas as coletas e para ambas as profundidades. Os poros arredondados, alongados e complexos pequenos e mais os poros do tipo complexos médios, contribuem com a outra parcela da distribuição dos poros (Figura 17).

Figura 17 - Distribuição da porosidade total (PT) para a área ORG 5, segundo a forma (arredondados; alongados; complexos) e o tamanho dos poros (diâmetro: pequeno - 12,49 – 124,90 μm; médio - 124,90 – 394,97 μm; grande - >394,97 μm)

Figura 17 - Distribuição da porosidade total (PT) para a área ORG 5, segundo a forma (arredondados; alongados; complexos) e o tamanho dos poros (diâmetro: pequeno - 12,49 – 124,90 μm; médio - 124,90 – 394,97 μm; grande - >394,97 μm)

A área ORG 6 apresentou pela análise de imagem redução da porosidade do solo ao longo do tempo em ambas as profundidades. Analisando a profundidade de 0,00 – 0,12 m, a coleta 1 possui porosidade de 43,27%, apresentando diferença

estatística com relação a coleta 3 que apresentou 35,08%. A coleta 2 obteve valor de 38,32%, não obtendo diferença estatística significativa entre as outras duas coletas (Tabela 39).

Na profundidade de 0,12 – 0,24 m a coleta 1 apresentou maior porosidade, obtendo diferença estatística com relação as coletas 2 e 3, as quais não obtiveram diferença estatística significativa entre si, apresentando valores menores de porosidade.

Para todas as coletas na área do ORG 6, as profundidade de 0,00 – 0,12 m e 0,12 – 0,24 m obtiveram diferença estatística entre si em cada coleta, sendo que os valores na primeira profundidade foram maiores do que na segunda.

Tabela 39 – Valores médios da porosidade na área Orgânico 6

Profundidade --- m ---	Coleta					
	1		2		3	
	----- % -----					
0,00 – 0,12	43,27	A a	38,32	A ab	35,08	A b
0,12 – 0,24	33,26	B a	20,95	B b	20,28	B b

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto a profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto a coleta na mesma profundidade.

A porosidade desta área é composta em maior porcentagem por poros complexos grandes e menor porcentagem por poros arredondados, alongados e complexos pequenos e poros complexos médios, sendo que na profundidade 0,12 – 0,24 m com a redução da porosidade e conseqüentemente dos poros complexos grandes, os outros tipos e tamanhos de poros aumentam sua contribuição na porosidade (Figura 18).

Figura 18 - Distribuição da porosidade total (PT) para a área ORG 6, segundo a forma (arredondados; alongados; complexos) e o tamanho dos poros (diâmetro: pequeno - 12,49 – 124,90 μm ; médio - 124,90 – 394,97 μm ; grande - >394,97 μm)

2.3.6 Condutividade hidráulica

Segundo a classificação proposta por Reynolds & Elrick, (1986) os meios porosos que apresentam os valores de Kfs entre 10^{-4} e 10^{-5} m s $^{-1}$ são de alta

permeabilidade, o valor de K_{fs} de 10^{-6} m s^{-1} é classificado como um meio poroso de permeabilidade intermediária e o K_{fs} de 10^{-7} e 10^{-8} m s^{-1} como sendo um meio poroso de baixa permeabilidade.

Para todas as áreas estudadas, as condutividades hidráulicas saturadas foram classificadas como alta permeabilidade pela proposta de Reynolds & Elrick, (1986). Este comportamento é devido à alta porosidade encontradas em todos os solos em todas as épocas amostradas e também pelo alto valor de matéria orgânica nos solos estudados, que promove redução dos valores de densidade do solo e consequentemente aumento da porosidade (DE-POLLI et al., 1996; MOSADDEGHI et al., 2009). A distribuição morfológica em tipos e tamanhos de poros encontrados pela análise de imagens, onde o predomínio foi dos poros do tipo complexos grandes conferem a estes solos uma maior condução de água em relação à retenção. A seguir veremos com um pouco mais de detalhe cada uma das propriedades.

A condutividade hidráulica saturada calculada para a área do SAF 1 é classificada como um meio de alta permeabilidade para todas as coletas, principalmente para as coletas 3 e 1 que apresentaram as maiores condutividades hidráulicas entre os períodos estudados (Figura 19), mas esta alta condutividade não apresentou diferença estatística entre as demais coletas (Anexo C). Analisando os outros potenciais, eles apresentaram alta condutividade no potenciais de -2 cm, passando para condutividades hidráulicas intermediárias nos potenciais mais negativos, mas mesmo assim, não apresentaram diferença estatística entre eles, exceto a coleta 3 que apresentou diferença estatística entre os potenciais de -4,5 e -6,5 cm com relação ao valor da condutividade saturada.

Esta alta condutividade corrobora com as altas porosidades encontradas em todas as coletas e os tipos e tamanhos de poros encontrados na análise de imagem (Figura 08). Em outros estudos, as condutividades hidráulicas saturadas no SAFs foram maiores comparados com outros sistemas de manejo (BHARATI et al., 2002; SEOBI, 2005).

Figura 19 – Gráficos da condutividade hidráulica da área Sistema agroflorestal 1

Na área SAF 2, assim como a anterior, os valores de condutividade foram altos em função da alta porosidade apresentada por esta área ao longo do tempo. Para cada potencial os valores de condutividade não obtiveram diferença estatística entre elas ao longo das coletas, já dentro de cada coleta, os potenciais -2, -4,5 e -6,5 cm apresentaram diferença significativa do saturado para a coleta 3 (Anexo D). Na coleta 4 os potenciais de -2 e -4,5 cm não apresentaram diferença estatística entre os potenciais de -6,5 cm e o saturado. Além disso, as curvas da condutividade hidráulica de cada coleta apresentaram pouca inclinação no gráfico, indicando uma alta condutividade hidráulica em todos os potenciais estudados (Figura 20).

Figura 20 – Gráficos da condutividade hidráulica da área Sistema agroflorestal 2

A coleta 3 para a área SAF 3 apresentou a maior condutividade hidráulica saturada entre as coletas (Figura 21), obtendo diferença estatística com relação as coletas 1 e 4 (Anexo E) mas não sendo significativa a diferença entre as coletas 2 e 5. Esta maior condutividade hidráulica na coleta 3 é devido ao maior valor da porosidade na análise de imagens da profundidade de 0,00 – 0,12 m, além disso, o tipo de poro predominante neste solo foram os poros complexos grandes. O potencial de -2 cm da mesma coleta continua como a maior condutividade para este potencial, obtendo diferença estatística apenas com a coleta 4. Nos outros dois potenciais, a coleta 5 foi a que apresentou os maiores valores de condutividade, apresentando diferença estatística para todas as outras coletas no potencial de -4,5 cm e apenas para as coletas 1 e 4 para o potencial de -6,5 cm. Comparando entre os potenciais dentro de cada coleta, a única a não apresentar diferença estatística entre os potenciais foi a coleta 4, as demais coletas obtiveram diferença estatística entre os potenciais, sendo o potencial saturado diferente dos potenciais -4,5 e -6,5 cm.

Figura 21 – Gráficos da condutividade hidráulica da área Sistema agroflorestal 3

Para as áreas do sistema convencional, também foram observados o mesmo comportamento das áreas do sistema agroflorestal, as condutividades hidráulicas saturadas foram altas para as duas áreas estudadas deste sistema. No CON 1, a coleta 4 apresentou o maior valor de condutividade para todos os potenciais ao longo do tempo, causada pela maior porosidade calculada encontrada nesta coleta que foi consequência do revolvimento do solo neste período (Figura 22). Este revolvimento altera a dinâmica natural dos atributos físico-hídricos do solo (KLEIN; LIBARDI, 2002; OTTONI FILHO, 2003) modificando a estrutura do solo e influenciando diretamente os valores de condutividade saturada (MESQUITA; MORAES, 2004). Apesar de não haver diferença estatística entre os valores da condutividade saturada, nota-se no gráfico que as coletas (1, 3 e 5), onde havia alguma cultura implantada ou recém-colhida, um valor menor de condutividade com relação às outras coletas. A isto podemos atribuir ao fato que esta área é mecanizada e pode alterar a distribuição dos poros reduzindo a condutividade hidráulica do solo (Anexo F).

Figura 22 – Gráficos da condutividade hidráulica da área Convencional 1

Como o esperado, a coleta 1 foi a maior condutividade hidráulica entre as coletas analisadas na área do CON 2 (Figura 23), devido ao revolvimento do solo que modifica a estrutura do solo, diminuindo a densidade e aumentando a porosidade (Tabela 27). Após este preparo (coletas 2, 3 e 4) a área transformou-se em pastagem, e o pisoteio dos animais sobre a superfície do solo, reduz a porosidade e a condutividade hidráulica, como visto no gráfico. Estas coletas não apresentaram diferença estatística entre si, somente entre a coleta 1 para os potenciais de 0 e -2 cm. No potencial de -4,5 cm as diferenças diminuem e as coletas 1 e 3 foram as que apresentaram diferença estatística. Já no potencial de -6,5 cm não houve diferença entre as coletas analisadas. A ausência de dados no potencial de -6,5 cm para as coletas 2 e 3 é devido ao solo estar muito úmido, impedindo realização da infiltração neste potencial (Anexo G).

Figura 23 – Gráficos da condutividade hidráulica da área Convencional 2

Como nos sistemas anteriores, o orgânico apresentou porosidade calculada alta, colaborando para maior condutividade hidráulica no solo (Figura 24). Mesmo existindo tendência de aumento na porosidade ao longo do tempo pela análise de imagens, a área ORG 1 não apresentou diferença estatística entre as coletas para cada potencial (0, -2, -4,5 e -6,5 cm). Este resultado pode ser explicado pela alta porosidade encontrada em todas as coletas (Tabela 28), independentemente da prática cultural adotada neste período, conferindo ao solo uma alta condutividade hidráulica.

Entretanto, houve diferença estatística dentro de cada coleta para os potenciais, onde o potencial saturado da coleta 2 obteve diferença estatística com relação aos potenciais -4,5 e -6,5 cm e na coleta 3, os potenciais 0, -2 e -6,5 cm apresentaram diferença estatística entre si. As demais coletas não obtiveram diferença estatística entre os potenciais analisados (Anexo G).

Figura 24 – Gráficos da condutividade hidráulica da área Orgânico 1

A área ORG 2, assim como a ORG 1, apresenta porosidade calculada alta (Tabela 28), conferindo a este solo alta condutividade hidráulica. Esta alta condutividade não obteve diferença estatística ao longo do tempo para cada potencial (0, -2, -4,5 e -6,5 cm). Assim como, também não obteve diferença estatística significativa entre os potenciais dentro de cada coleta.

Entretanto, analisando o gráfico (Figura 25), vemos que as coletas que sofreram preparo do solo (1 e 2) e apresentaram mato na superfície (3 e 5), obtiveram os maiores valores de condutividade, ao contrário quando foi implantado o adubo verde o valor de condutividade hidráulica foi menor, mas esta diferença não foi significativa (Anexo I).

Figura 25 – Gráficos da condutividade hidráulica da área Orgânico 2

Visualizando o gráfico (Figura 26), a coleta 1 da área ORG 3, apresentou os maiores valores de condutividade hidráulica entre as coletas, concordando com a maior porosidade calculada do solo encontrada nesta área na profundidade de 0,00 – 0,05 m (Tabela 28). Entretanto, ao longo do tempo os valores de condutividade hidráulica diminuem em função da redução da porosidade na superfície do solo causado pelo pisoteio dos animais.

Na saturação, não houve diferença entre as coletas neste potencial (Anexo J), sendo que em todas as coletas obtiveram uma alta condutividade hidráulica. Nos demais potenciais, a coleta 1 apresentou diferença com relação as demais coletas ao longo do tempo, não obtendo diferença apenas a coleta 3 no potencial -4,5 cm.

Nesta área ficou clara a atuação do manejo interferindo no atributo físico-hídrico do solo. A transformação em pastagem reduziu a porosidade do solo, assim como a condutividade hidráulica.

Figura 26 – Gráficos da condutividade hidráulica da área Orgânico 3

A coleta 1 apresentou os maiores valores de condutividade hidráulica entre as coletas para a área do ORG 4 (Figura 27), sendo que neste período havia o plantio de milho e tomate na área. Esta mesma coleta obteve diferença estatística sobre as outras coletas para todos os potenciais, exceto a coleta 3 no potencial de 0,0 cm. (Anexo K). As demais coletas tiveram diferença estatística apenas nos valores de condutividade do potencial de -6,5 cm, onde as coletas 3, 4 e 5 foram diferentes da coleta 2.

Dentro de cada coleta somente a coleta 3 e 4 que não obtiveram diferença estatística entre os potenciais. As demais coletas o potencial saturado sempre foi maior, apresentando diferença estatística com os demais potenciais.

Figura 27 – Gráficos da condutividade hidráulica da área Orgânico 4

Todas as coletas na área do ORG 5 apresentaram valores de condutividade hidráulica altas nos potenciais de 0 e -2 cm (Figura 28) e em todas as coletas nestes potenciais não foram observados diferenças estatísticas entre as coletas ao longo do tempo (Anexo L). Esta falta de diferença é devido aos altos valores de porosidade que foram encontrados em cada coleta. Esperava-se que a coleta 1 apresenta-se a maior condutividade hidráulica deste solo, devido ao maior conteúdo de matéria orgânica (Tabela 14) e a maior porosidade calculada encontrada (Tabela 28), porém, em função da alta porosidade e altos valores de matéria orgânica também para as outras coletas, elas não obtiveram diferença estatística nos valores de condutividade para os potenciais de 0,0 e -2 cm.

No potencial de -4,5 cm as coletas 3 e 4 obtiveram valores menores de condutividade e obtiveram diferença estatística com relação a coleta 1, mas não apresentando diferença entre a coleta 2. Já no potencial de -6,5 cm as coletas 2, 3 e 4 apresentaram valores menores de condutividade e não apresentaram diferença estatística entre si, mas foram diferentes da coleta 1 que possui o maior valor deste potencial. Dentro de cada coleta, não houve diferença significativa entre os valores de condutividade nos potenciais analisadas.

Figura 28 – Gráficos da condutividade hidráulica da área Orgânico 5

Na área ORG 6 a porosidade pela análise de imagens indicou tendência de redução ao longo do tempo (Tabela 39). Esta tendência também foi observada no gráfico da condutividade hidráulica (Figura 29), mas somente no potencial de -2 cm que obteve diferença estatística entre a coleta 1 que possui a maior condutividade com relação as outras duas coletas (Anexo M).

Analisando entre os potenciais em cada coluna, o valor potencial 0,0 cm apresentou diferença estatística com relação ao potencial de -4,5 e -6,5 cm, mas não apresentando diferença estatística significativa com relação ao potencial -2 cm.

Figura 29 – Gráficos da condutividade hidráulica da área Orgânico 6

2.4 Conclusões

1 – Os sistemas agroflorestais e os orgânicos apresentaram altos teores de matéria orgânica nas coletas analisadas, mas não mostraram tendência de acúmulo ao longo do tempo.

2 – Todos os sistemas de manejo apresentaram densidade do solo baixa em todas as coletas, proporcionando uma alta porosidade no solo, que contribuiu para a alta condutividade hidráulica encontrada nos sistemas.

3 – Todos os sistemas apresentaram atributos físicos e hídricos com boas condições para o cultivo, não sendo um impedimento, com relação ao solo para manter estes sistemas nesta região.

4 – Apesar dos tratos culturais e todo o manejo na área do CON 1 ser realizado por máquinas, não houve apresentação de impedimentos físicos e hídricos neste sistema, assim como a sua degradação.

5 - O uso de sistemas de manejo agroecológicos é uma alternativa interessante para a região

6 – Seria necessário mais tempo de estudos nos sistemas agroflorestais e os orgânicos para evidenciar as vantagens dos seus manejos nos atributos físico hídricos do solo, devido a estes serem sistemas recentemente implantados.

Referências

ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do Milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 717-723, 2001.

ALVES, M.C.; SUZUKI, L.G.A.S.; SUZUKI, L.E.A.S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um latossolo vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 617-625, 2007.

ANKENY, M.D.; AHMED, M.; KASPAR, T.C.; HORTON, R. Simple field method for determining unsaturated hydraulic conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 55, p. 467-470, 1991.

ARAÚJO, G.G.L.; ALBUQUERQUE, S.G.; GUIMARÃES FILHO, C. Opções no uso de forrageiras arbustivo-arbóreas na alimentação animal no semiárido 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: Embrapa Gado de leite, 2001. p. 111-137.

ARGENTON, J. **Propriedades físicas do solo em dois sistemas de cultivo com plantas de cobertura de verão intercalares à cultura do milho**. 2000. 97 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade do estado de Santa Catarina, Lages, 2000.

BARKER, D.J.; ZHANG, D.M.; MACKAY, A.D. Root distribution in a low fertility hill country sward grazed by sheep. **New Zealand Journal of Experimental Agriculture**, Singapura, v. 16, p. 73-76, 1988.

BHARATI, L.; LEE, K.H.; ISENHART, T.M.; SCHULTZ, R.C. Soil water infiltration under crops, pasture, and established riparian buffer in Midwest USA. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 56, p. 249-257, 2002.

BILIBIO, W.D.; CORRÊA, G.F.; BORGES, E.N. Atributos físicos e químicos de um latossolo, sob diferentes sistemas de cultivo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 817-822, jul./ago. 2010.

BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; REINERT, D.J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 605-614, 2006.

BRASIL, F.C.; STOCCO, F.C.; PESSANHA, A.L.; SOUTO, R.L.; ZONTA, E.; ROSSIELO, R.O.P. Distribuição e variação temporal de características radiculares de *Brachiaria humidicola* em um Planossolo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2000, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SBZ, 2000. 1 CD-ROM.

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

BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T.; BABEL, U. **Handbook for soil thin section description**. Wolverhampton: Waine Research Publication, 1985. 152 p.

BULLOCK, P.; THOMASSON, A.J. Rothamsted studies of soil structure. II. Measurement and characterization of macroporosity by image analysis and comparison with data from water retention measurements. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 30, p. 391-413, 1979.

CAMARGO, O.A. DE; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: IAC, 1986. 94 p. (Boletim Técnico, 106).

CARVALHO, R.; GOEDERT, W.J.; ARMANDO, M.S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1153-1155, 2004.

CASTRO, S.S.; COOPER, M.; SANTOS, M.C.; VIDAL-TORRADO, P. **Micromorfologia do solo: bases e aplicações**. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: SBCS, 2003. v. 3, p. 107-164.

CAVENAGE, A.; MORAES, M.L.T.; ALVES, M.C.; CARVALHO, M.A.C.; FREITAS, M.L.M.; BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 997-1003, 1999.

COOPER, M.; VIDAL-TORRADO, P. Caracterização morfológica, micromorfológica e físico-hídrica de solos com horizonte B nítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 581-595, 2005.

CORREA, J.C.; REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um latossolo amarelo da Amazônia Central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, p. 107-114. 1995.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no Sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 913-923, 2002.

DALMOLIN, R.S.D.; GONÇALVES, C.N.; DICK, D.P.; KLAMT, E.; KNICKER, HEIKE; KNABNER, I.K. Organic matter characteristics and distribution in ferralsols profiles of a climosequence in Southern Brazil. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 57, n. 5, p. 644-654, 2006.

DE-POLLI, H.; FRANCO, A.A. **Inoculação de leguminosas**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, UAPNPBS, 1985. 31 p. (EMBRAPA. UAPNPBS. Circular Técnica, 1)

DREWRY, J.J.; PATON, R.J. Effect of simulated dairy cow treading on soil physical properties and ryegrass pasture yield. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 44, p. 181-190, 2001.

_____. Soil physical quality under cattle grazing of a winter-fed brassica crop. **Australian Journal of Soil Research**, Oxford, v. 43, p. 525-531, 2005.

GARDNER, W.R. Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. **Soil Science**, Oxford, v. 85, p. 228-232, 1958.

GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy; Soil Science Society of America, 1986. pt. 1: Physical and mineralogical methods, p. 383-411. (Agronomy Series, 9).

GHIBERTO, P.J. **Metodologias para obtenção de parâmetros utilizados em modelos de infiltração da água no solo**. 1999. 79 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

GRAVENA, S., BENVEGA, R.S. **Manual prático de manejo ecológico de pragas no tomate**. Jaboticabal: S Gravena, 2003. 144 p.

GUIMARÃES, E.C. **Variabilidade espacial de atributos de um Latossolo Escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional**. 2000. 89 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

HALLAIRE, V.; COINTEPAS, J.P. Caractérisation de la macroporosité d'un sol de verger par analyse d'image. **Agronomie**, Paris, v. 13, p. 155-164, 1993.

HEID, D.M. **Sustentabilidade de sistemas de uso da terra em Mato Grosso do Sul**. 2011. 107 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Mato Grosso do Sul, 2011.

INTERNATIONAL CENTER FOR RESEARCH IN AGROFORESTRY. **Agroforestry at the service of farmers and the environment**: annual. Nairobi, 1995. 239 p.

JUHÁSZ, C.E.P. **Relação solo-água-vegetação em uma topossequência localizada na Estação Ecológica de Assis, SP**. 2005. 110 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

KHATOUNIAN, C.A. **A reconstrução ecológica da agricultura**. Botucatu: Agroecológica, 2001. 345 p.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L.. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um latossolo roxo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 959-964, 2000.

LAWRENCE, G.P. Measurement of pore sizes in fine-textures soils: a review of existing techniques. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 28, p. 527-540, 1977.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 2005. 335 p.

LLANILLO, R.F.; RICHART, A.; TAVERES FILHO, J.; GUIMARÃES, M.F.; FERREIRA, R.R.M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, p. 205-220, 2006.

MÄDER, P.; PFIFFNER, L.; FLIESSBACH, A.; VON-LÜTZOW, M.; MUNCH, J. C. Soil ecology - Impact of organic and conventional agriculture on soil biota and its significance for soil fertility. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON KYUSEI NATURE FARMING, 5., 1997, Bangkok. Atami: International Nature Farming Research Center, 1997. p. 24-40.

MARCHEZAN, E.; VIZZOTTO, V.R.; ZIMMERMAN, F.L. Produção de forrageiras de inverno em diferentes espaçamentos entre drenos superficiais sob pastejo animal em várzea. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 3, p. 393-397, 1998.

MENEZES, J.M.T.; VAN LEEUWEN, J.; VALERI, S.V.; CRUZ, M.C.P.; LEANDRO, R.C. Comparação entre solos sob uso agroflorestal e em florestas remanescentes adjacentes, no norte de Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 893-898, mar./abr. 2008.

MESQUITA, M.G.B.F.; MORAES, S.O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 963-969, 2004.

MIELNICZUK, J., Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 1-8.

MORAN, C.J.; KOPPI, A.J.; MURPHY, B.W.; McBRATNEY, A.B. Comparison of the macropore structure of a sandy loam surface soil horizon subjected to two tillage treatments. **Soil and Use Management**, Wallingford, v. 4, n. 3, p. 96-102, Sept. 1988.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 625 p.

MOSADDEGHI, M.R.; MAHBOUBI, A.A.; SAFADOUST, A. Short-term effects of tillage and manure on some soil physical properties and maize root growth in a sandy loam soil in western Iran. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 104, p. 173-179, 2009.

MOUSSA-MACHRAOUI, S.B.; ERROUISSI, F.; BEM-HAMMOUDA, M.; NOUIRA, S. Comparative effects of conventional and no-tillage management on some soil properties under Mediterranean semi-arid conditions in northwestern Tunisia. **Soil Tillage & Research**, Amsterdam, v. 106, p. 247-253, 2010.

MURPHY, C.P. **Thin section preparation of soils and sediments**. Berkhamsted: A.B. Academic Publ., 1986. 149 p.

MURPHY, C.P.; BULLOCK, P.; TURNER, R.H. The measurement and characterization of voids in soil thin sections by image analysis. Part I. Principles and techniques. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 28, p. 498-508, 1977.

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

NICOLOSO, R.S.; AMADO, T.J.C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M.E.; GIRARDELLO, V.C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1723-1734, 2008.

NOBRE C.A.; GASH, J.H.C. Desmatamento e clima: o maior estudo já feito na Amazônia. **Ciência Hoje**, São Paulo, v. 22, p. 32-41, 1997.

OLNESS, A.; CLAPP, C.E.; LIU, R.; PALAZZO, A.J. Biosolids and their effects on soil properties. In: WALLACE, A.; TERRY, R.E. (Ed.). **Handbook of soil conditioners**. New York: Marcel Dekker, 1998. p. 141-165.

OTTONI FILHO, T.B. Uma classificação físico-hídrica dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 211-222, 2003.

PAGLIAI, M. Micromorphometric and micromorphological investigation on the effect of compaction by pressures and deformations resulting from tillage and wheel traffic. In: MONNIER, G.; GOSS, M.J. (Ed.) **Compaction and regeneration**. Rotterdam: Academic Publ., 1987. p. 31-38.

PAGLIAI, M.; VIGNOZZI, N. The pore system as an indicator of soil quality. In: PAGLIAI, M.; JONES, R.J.A. (Ed.). **Sustainable land management – environmental protection: a soil physical approach**. Reiskirchen: Catena Verlag, 2002. p. 71-82. (Advances in Geocology, 35).

PERROUX, K.M.; WHITE, I. Designs for disk permeameters. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, n. 5, p. 1205-1215, 1988.

PRAUDEL, B.R.; UDAWATTA, R.P.; KREMER, R.J.; ANDERSON, S.H. Soil quality indicator responses to row crop, grazed pasture, and agroforestry buffer management. **Agroforest System**, Dordrecht, v. 84, p. 84-311, 2012.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004. 478 p.

RESCK, D.V.S.; PEREIRA, J.; SILVA, J.E. **Dinâmica da matéria orgânica na região dos Cerrados**. Planaltina: Embrapa, CPAC, 1991. 22 p. (Embrapa. CPAC. Documentos, 36)

REYNOLDS, W.D.; ELRICK, D.E. A method for simultaneous in situ measurement in the vadose zone field saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the conductivity-pressure head relationship. **Ground Water Monitoring Review**, Westerville, v. 6, p. 84-95, 1986.

REYNOLDS, W.D.; YANG, X.M.; DRURY, C.F.; ZHANG, T.Q.; TAN, C.S. Effects of selected conditioners and tillage on the physical quality of a clay loam soil. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 83, p. 318–393, 2003.

RICHARDS, L.A. Capillary conduction of liquids through porous mediums. **Physics**, College Park, v. 1, p. 318-333, 1931.

RINGROSE-VOASE, A.J. Micromorphology of soil structure: description, quantification, application. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 29, p. 777-813, 1991.

RINGROSE-VOASE, A.J.; BULLOCK, P. The automatic recognition and measurement of soil pore types by image analysis and computer programs. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 35, p. 673-684, 1984.

SÁNCHEZ, 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: Embrapa, 2001. p. 9-17.

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

SANTANA, D.F.; BAHIA-FILHO, A.F.C. Soil quality and agricultural sustainability in the Brazilian Cerrado. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 16., 1998, Montpellier. **Proceedings...** Montpellier: ISSS, 1998. 1 CD-ROM.

SANTANA, M.B.; SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; FONTES, L.E.F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 1-12, jan./fev. 2006.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **User's guide**: release 8.0 2.ed. Cary: SAS Institute, 1995. 1686 p.

SCHROTH, G.; D'ANGELO, S.A.; TEIXEIRA, W.G.; HAAG, D.; LIEBEREI, R. Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazônia: consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 163, p. 131- 150, 2002.

SECCO, D.; DA ROS, C.O.; SECCO, J.K.; FIORIN, J.E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 407-414, 2005.

SEOBI, T.; ANDERSON, S.H.; UDAWATTA, R.P.; GANTZER, C.J. Influence of grass and agroforestry buffer strips on soil hydraulic properties for an Albaqualf. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 69, p. 893-901, 2005.

SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, Oxford, v. 52, p. 591-611, 1965.

SHIPITALO, M.J.; DICK, W.A.; EDWARDS, W.M. Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, p. 167-183, 2000.

SILVA, D.C. da; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; OLIVEIRAS, A.H.; SOUZA, F.S. de; MARTINS, S.G.; MACEDO, R.L.G. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. **Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, v. 13, n. 1, p. 77-86, 2011.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 113-117, 1997.

SILVA, S.R.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M. Atributos físicos de dois Latossolos afetados pela compactação do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 842-847, 2006.

SOUTHORN, N.J. The soil structure component of soil quality under alternate grazing management strategies. In: PAGLIAI, M.; JONES, R. J. A. (Ed). **Sustainable and management – environmental protection: a soil physical approach**. Reiskirchen: Catena Verlag, 2002. p. 71-82. (Advances in GeoEcology, 35).

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; COOPER, M.; PEREIRA, G.P. Micromorfologia do solo e sua relação com atributos físicos e hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 487-492, 2006.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Efeito de pastagens de inverno e de verão em características físicas de solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, p. 1193-1200, 2006.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reaction**. New York: Wiley Interscience, 1994. 443 p.

STOOPS, G. **Guidelines for analysis and description of soil regolith thin sections**. Madison: Soil Science Society of America, 2003. 184 p. + 1 CD-ROM.

TATE, K.R. Assessment, based on a climosequence of soils in tussock grasslands, of soil carbon storage and release in response to global warming. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 43, p. 697-707, 1992.

TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Influence des pratiques culturales sur le comportement et les propriétés de sols du Paraná (Brésil). **Étude et Gestion des Sols**, Ardon, v. 5, p. 61-71, 1998.

THENG, B.K.G.; CHURCHMAN, G.J.; NEWMAN, R.H. Clay-humic interactions and soil aggregate stability. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (Ed.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu, University of Hawaii, NifTAL Project, 1987. p. 5-32.

TREIN, C.R.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo na rotação aveia + trevo/milho, após pastejo intensivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, p. 105-111, 1991.

VZZOTTO, V.R.; MARCHEZAN, E.; SEGABINAZZI, T. Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do solo de várzea. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 965-969, 2000.

WOODING, R.A. Steady infiltration from a shallow circular pond. **Water Resources Research**, Washington, v. 4, p. 1259-1273, 1968.

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

YOUNG, R.A.; OLNESS, A.E.; MUTCHLER, C.K.; MOLDENHAUER, W.C. Chemical and physical enrichments of sediment from cropland. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 29, p. 165–169, 1986.

3 RELAÇÃO SOLO – ÁGUA - VEGETAÇÃO EM TRÊS TIPOS DE COBERTURA VEGETAL NO MUNICÍPIO DE APIAÍ

Resumo

O presente estudo caracterizou o funcionamento físico-hídrico dos solos de três tipos de cobertura vegetal (Agricultura orgânica, Sistemas Agroflorestais e Capoeira) no município de Apiaí – SP. Para a caracterização do funcionamento físico-hídrico dos solos foi realizada a descrição de uma trincheira em cada tipo de vegetação e a coleta de amostras deformadas de solo para análises químicas, granulométricas e densidade de partículas; e amostras indeformadas em anéis cilíndricos para a definição das curvas de retenção de água no solo, condutividade hidráulica e a densidade do solo. Blocos de solo foram impregnados e polidos para análise de imagens, a partir da qual foi obtida a distribuição de poros em forma e tamanho. O monitoramento da umidade do solo “in situ” foi obtido por sensores instalados nos principais horizontes das trincheiras durante o período de 29 de janeiro de 2010 a 02 de fevereiro de 2011. Dados de precipitação foram coletados na estação meteorológica automática instalada na área. Os resultados deste projeto mostram que os três solos sob diferentes coberturas vegetais, apresentaram principalmente nos seus horizontes superficiais, altos valores de matéria orgânica que favoreceu maior agregação do solo, aumentando assim a porosidade calculada e contribuindo para o aparecimento de poros complexos grandes. Os poros complexos grandes são responsáveis pelos altos valores de condutividade hidráulica nestes solos e são determinantes no funcionamento físico hídrico do solo. A distribuição dos poros vista na análise de imagem e a alta porosidade calculada encontrada principalmente nos horizontes superficiais, concordam com a presença de duas regiões com propriedades hidráulicas contrastantes que confere o comportamento bimodal das curvas de retenção. Para todos os tipos de cobertura vegetal, não há escassez de água ao longo do tempo, devido aos altos índices pluviométricos e sua distribuição regular, assim como pelos atributos do solo que oferecem em profundidade altos valores de umidade do solo. Os atributos físico-hídricos do solo explicam os resultados da dinâmica da água no solo destes três tipos de cobertura vegetal

Palavras chaves: Cambissolo; Água no solo; Dupla porosidade; Umidade do solo; Análise de imagens; Condutividade hidráulica

Abstract

The present study has characterized soil hydro-physical functioning of three kinds of vegetal cover (Organic agriculture, Agroforestry System and “capoeira”) in Apiaí – SP. Three profiles were opened, one in each vegetal cover, and disturbed samples were collected for chemical, particle-size and particle density analysis. Undisturbed samples were collected for soil water retention curve, hydraulic conductivity and soil bulk density analysis. Soil blocks were impregnated and polished for image analysis, from which pore size and morphology, were obtained. Water content sensors were installed in the most representative horizons of the

profiles and soil water content monitoring was performed from January 29, 2010 to February 02, 2011. Rainfall data were collected in an automatic meteorological station installed in the area. Results showed that all soils under different vegetal cover presented, especially in the surface horizons, high values of organic matter that promotes soil aggregation, enhances calculated porosity and contributes to the appearance of large irregular pores. These pores are responsible for higher hydraulic conductivity and are determine the soil hydro-physical behavior. Image analysis and calculated porosity showed high porosity especially in the surface horizons, and are in accordance with the existence of two areas with contrasting hydraulic properties, that gives the soil water retention curves a dual-pore behavior. For all vegetal covers the profiles did not show lack of water in time, due to high and regular rainfall index and soil attributes, that offers high humidity values in depth. Soil water dynamic results on all sites were explained by the soil hydro-physical attributes.

Keywords: Inceptisol; Soil water; Dual-porosity; Soil humidity; Image analysis; Hydraulic conductivity

3.1 Introdução

A caracterização físico hídrica do solo é uma importante ferramenta para a compreensão da dinâmica dos fluxos de água no solo, os quais são parte importante do ciclo hidrológico (MA; SHAO, 2008). Por esse motivo, surge a necessidade de se estudar os atributos do solo que explicam as relações entre o solo e a água, associando os dados de conteúdo e retenção de água no solo a aspectos morfológicos e físicos do solo, tais como estrutura e porosidade (SANTOS et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2005; JUHÁSZ et al., 2006; COOPER et al., 2012).

A caracterização da estrutura permite uma percepção e uma eventual previsão do comportamento hidrodinâmico do solo tais como suas propriedades de retenção e de circulação de água (CURMI, 1988). Porém, a estrutura do solo é difícil de ser definida ou quantificada (SOUTHORN, 2002) e, por esse motivo, a análise de imagem vem sendo cada vez mais utilizada para a determinação da distribuição dos tamanhos e dos tipos de poros (STOOPS, 2003), visto sua importância na influência direta dos fenômenos de armazenamento e movimento da água (LAWRENCE, 1977).

A estrutura do solo é afetada pelo manejo contínuo, e a sua degradação pode ser evitada utilizando-se práticas conservacionistas, o que pode, por exemplo, aumentar a retenção de água no solo (KLEIN; LIBARDI, 1998).

A região em estudo possui inúmeras microbacias hidrográficas em cujas cabeceiras são desenvolvidas atividades agrícolas intensas. Entretanto, no município de Apiaí prevalece à agricultura familiar, realizada em pequenas

propriedades, e na sua maioria é uma agricultura baseada no modelo convencional de supressão da vegetação e uso de insumos agrícolas, sendo então observado a necessidade da implantação de sistemas de manejo conservacionistas que sejam interessantes no sentido de auxiliar o desenvolvimento regional em convívio com o ecossistema da região. A crescente preocupação mundial com a sustentabilidade ambiental acarretou em uma demanda dos agricultores por práticas sustentáveis de produção, seja esta por causas ambientais, ou forçadas pelas imposições do mercado. Aliado a esta demanda surgem estudos e idéias de produção agrícola aliada à preservação ambiental com a utilização de práticas de manejo menos agressivas que preservem a estrutura do solo, como o sistema de cultivo orgânico e os sistemas agroflorestais.

Os sistemas de manejo conservacionista estudados são os sistemas agroflorestais, que combinam plantas agrícolas, espécies arbóreas e arbustivas na mesma unidade de manejo ao mesmo tempo (NAIR, 1993; INTERNATIONAL CENTER FOR RESEARCH IN AGROFORESTRY, 1995; SILVA et al., 2011), diversificando o ecossistema e aumentando as interações benéficas que ocorrem entre as plantas dos diferentes ciclos, portes e funções (SANCHEZ, 1995; YOUNG, 1997). Outro método conservacionista é o manejo orgânico que através de suas práticas e formas de manejo alternativas ao sistema convencional, objetiva a sustentabilidade econômica e ecológica revelando melhor desempenho em termos de qualidade do solo e água (RODRIGUES; CAMPANHOLA, 2003).

Nesse contexto o presente trabalho tem como objetivo:

- Caracterizar a morfologia e o funcionamento físico-hídrico de 3 tipos de cobertura vegetal (Agricultura orgânica, Sistemas Agroflorestais e Capoeira) no município de Apiaí.

A pesquisa baseia-se na hipótese de que:

- A morfologia e os atributos físico-hídricos são importantes no entendimento do funcionamento físico-hídrico dos solos cultivados com sistemas de manejo alternativos.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Descrição do local de estudo

Três diferentes coberturas vegetais (Sistema agroflorestal, Tomate orgânico e Capoeira) localizados no assentamento tipo PDS (Projeto de Desenvolvimento

Sustentável) “Luiz David de Macedo”, no entorno do Parque Estadual do Alto Ribeira (PETAR), localizado no município de Apiaí – SP, foram selecionados para caracterizar o funcionamento físico-hídrico do solo (Figura 1).

3.2.2 Descrição morfológica do solo

Para cada área foi aberta uma trincheira para a coleta de amostras deformadas e indeformadas e também a instalação dos sensores de umidade. Cada trincheira foi descrita baseado em parâmetros mais qualitativos e suas descrições morfológicas estão em ANEXOS N, O e P.

Figura 1 - Localização das áreas de estudo

3.2.3 Atributos químicos do solo

As amostras deformadas para as análises químicas de rotina foram coletadas nos principais horizontes de cada trincheira das diferentes coberturas vegetais. Essas análises foram realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP.

3.2.3.1 Determinação do pH em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$

O procedimento analítico consistiu em transferir 10 gramas de solo para frasco plástico e adicionar 25 ml de solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, com agitação de 5 minutos e decantação por 30 minutos e leitura.

Leitura: calibração do pHmetro com soluções padronizadas de $\text{pH} = 4$ e $\text{pH} = 7$.

Cálculo: valor direto da leitura do equipamento.

3.2.3.2 Determinação do pH em água

Transferir 10 gramas de solo para frasco plástico e adicionar 25 ml de água deionizada (dispenser), com consequente agitação na mesa agitadora, por 5 minutos. Decantação por 30 minutos e leitura.

Leitura: calibração do pHmetro com soluções padronizadas de $\text{pH} = 4$ e $\text{pH} = 7$.

Cálculo: valor direto da leitura do equipamento.

3.2.3.3 Determinação do pH em KCl 1 mol L^{-1}

Transferir 10 gramas de solo para frasco plástico e adicionar 25 ml de solução de KCl 1 mol L^{-1} , com consequente agitação na mesa agitadora, por 5 minutos. Decantação por 30 minutos e leitura.

Preparação da solução: dissolver, em água deionizada, 74,55 gramas do sal KCl para 1 litro de solução.

Leitura: calibração do pHmetro com soluções padronizadas de $\text{pH} = 4$ e $\text{pH} = 7$.

Cálculo: valor direto da leitura do equipamento.

3.2.3.4 Determinação da acidez potencial - H+Al (mmol_c kg⁻¹)

Transferir 2,5 gramas de solo para frasco plástico e adicionar 50 ml de solução de acetato de cálcio a pH = 7, com agitação por 15 minutos e consequente filtragem. Retirou-se 25 ml de extrato e transferiu para erlenmeyer de 125 ml.

Leitura: titulação com solução de NaOH 0,025 mol L⁻¹ + indicador fenolftaleína, que indica a mudança de cor para a rosada.

Cálculo:

$$H + Al = [(V \text{ amostra} - V_{\text{branco}}) \times C_{\text{NaOH}} \times 50 \times 1000] \div 25 \times 2,5$$

$$C_{\text{NaOH}} = 0,025$$

3.2.3.5 Determinação de alumínio trocável – Al (mmol_c kg⁻¹)

Transferir 5 gramas de solo para frasco plástico e adicionar 50 ml de solução de KCl 1 mol L⁻¹, com agitação de 10 minutos na mesa agitadora e posterior filtragem. Do filtrado restante, 25 ml são retirados e colocados em erlenmeyers de 125 ml.

Leitura: titulação com solução de NaOH 0,025 mol L⁻¹, com o indicador fenolftaleína, indicando a mudança da cor transparente para a rosada.

Cálculo:

$$Al = [(V \text{ amostra} - V \text{ branco}) \times C_{\text{NaOH}} \times 50 \times 1000] \div 25 \times 5, \text{ onde}$$

$$C_{\text{NaOH}} = 0,025$$

3.2.3.6 Determinação da matéria orgânica (g kg⁻¹)

Transferir 1 grama de solo em enermeyer de 500 ml e adicionar 10 ml de dicromato de potássio e depois 20 ml de ácido sulfúrico p.a.. Descanso de mais ou menos 1 hora. Completar com 200 ml de água deionizada.

Leitura: por titulação com a solução de sulfato ferroso amoniacal (ou sal de Mohr).

Cálculo:

$$MO = [(V \text{ branco} - V \text{ amostra}) \times C_{\text{Fe}} \times 0,003 \times 1,33 \times 1,724 \times 1000] \div \text{Volume do solo}$$

$$C_{\text{Fe}} = [10 \times 0,167 \times 6] \div V \text{ branco}$$

3.2.3.7 Determinação do potássio – mehlich 1 ($\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$)

Transferir 2,5 gramas de solo para frasco plastico e adicionar 25 ml de solução Mehlich 1, com agitação por 5 minutos e decantação por uma noite. Pipeta-se 10 ml do sobrenadante e transfere para tubos de ensaio.

Leitura: fotômetro de chama.

Achar a concentração a partir dos pontos da curva. Achando a [K], a conta será:

$$K = ([K] \times 10) \div \text{Peso Molecular do K (39,1)}$$

Quando houver diluição, multiplicar a [K] pela diluição.

3.2.3.8 Extração de cálcio, magnésio e fósforo

Procedimento: 2,5 gramas de solo + 1 bolinha de vidro para cada amostra + 25 ml de água deionizada, com agitação de 15 minutos. Retiram-se as bolinhas e adicionam-se resinas catiônicas e aniônicas, com agitação de, no mínimo, 16 horas.

Recuperação da resina: NH_4Cl $0,8 \text{ mol L}^{-1}$ (42,8 gramas) + HCl $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ (16,6 gramas) para 1 litro de solução. Equipamento laboratorial separará a resina do solo, restando apenas a solução e a resina. Descanso das amostras por 1 hora e agitação por mais 1 hora.

As 16 horas de agitação solo + resina promoveram o carregamento das resinas com cargas de P (resinas aniônicas) e Ca e Mg (resinas catiônicas). A recuperação da resina irá fazer com que as cargas que nelas estão sejam transferidas para a solução de cloreto de amônio com ácido clorídrico, para consequente leitura.

Leitura Ca e Mg: pipeta-se 1 ml do extrato e adiciona 10 ml de solução de lantânio (La_2O_3 0,1%) e leitura no espectroscopia de absorção atômica.

Leitura P: pipeta-se 4 ml do extrato, com 16 ml de solução de molibdato, repousando por 30 minutos, até poder ler no colorímetro.

Molibdato: 50 ml de molibdato (estoque) + um pouco de água deionizada. Pesa-se 1 grama de ácido ascórbico e junta na solução anterior. Pesa-se 0,6 gramas de gelatina em pó e mistura com água fria e depois com água quente e junta também com a solução. Completa o balão de 1 litro com água deionizada.

Cálculos:

- Fósforo (mg kg^{-1}) $\rightarrow P = [P]$, a partir do gráfico da curva.

- Cálcio e magnésio $\rightarrow \text{Leitura} \times 10$

3.2.4 Atributos físicos do solo

3.2.4.1 Análise granulométrica

Com o intuito de caracterizar as áreas estudadas, foram coletadas amostras deformadas nos principais horizontes de cada trincheira para a determinação da granulometria do solo (Tabela 1). Estas análises foram realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP pelo método do densímetro (GEE; BAUDER, 1986). Após agitação horizontal por 16 horas das amostras com uma solução dispersante contendo hidróxido de sódio e hexametáfosfato de sódio (CAMARGO et al., 1986). A sedimentação diferenciada dos materiais do solo, devido ao tamanho, permite estabelecer a velocidade com que a partícula decanta (Lei de Stokes). Com isso, pode-se medir a densidade da suspensão a cada intervalo de tempo pré-determinado relacionado ao tamanho das partículas.

Tabela 1 – Horizontes e profundidades amostradas para as análises físicas

	SAF	Tomate	Capoeira
Horizonte	----- m -----		
A	0,10	0,10	0,10
Bi1	0,48	0,45	0,48 (Topo) 0,80 (Base)
Bi2	0,85	0,75	...
Bi3	1,30	...	...
BC	1,57	1,00	1,30
C	1,87	...	1,70

3.2.4.2 Densidade do solo

Para a determinação da densidade do solo, foram utilizados cilindros de 100 cm³ que foram secos em estufa a 105°C por 24 horas para a determinação da massa seca do solo. A densidade do solo foi determinada relacionando massa seca e o volume de cada amostra utilizada na curva de retenção de água no solo.

3.2.4.3 Densidade de partículas

A densidade de partículas foi obtida pelo método do picnômetro de gás hélio, (ACCUPYC 1330, Micromeritics Instrument Corporation®). Foram utilizadas para a análise as mesmas amostras da análise de densidade do solo. As amostras foram secas em estufa a 105 °C e posteriormente foram passadas em peneira de malha 2 mm. Uma alíquota de aproximadamente 7 a 8 gramas de solo seco (dois terços da cápsula do equipamento) foram pesadas em uma cápsula de metal e em seguida foram realizadas as leituras no picnômetro.

3.2.4.4 Porosidade calculada

A porosidade está diretamente ligada à densidade do solo, ela determina o espaço poroso no solo (REICHARDT; TIM, 2004). Assim, com os dados da densidade do solo e de partículas, foi possível calcular a porosidade total do solo (α) para ambas as profundidades de cada área, nas três coletas (Eq. 01):

$$\alpha = 1 - \left(\frac{D_s}{D_p} \right) \quad (01)$$

Onde, D_s é a densidade do solo e D_p é a densidade das partículas

3.2.5 Micromorfologia e distribuição de poros no solo por análise de imagens

Amostras indeformadas para análise micromorfológica e de imagens foram coletadas nos principais horizontes de cada trincheira (Tabela 1). Foi esculpido no solo o formato da caixa de papel cartão de 0,12 x 0,07 x 0,04 m, o qual utilizou-se para coletar a amostra sem deformá-la. As amostras foram identificadas e orientadas em direção a superfície do solo.

Estas amostras foram levadas ao laboratório para serem secadas ao ar por 15 dias. Após este período foram levadas a estufa a 40°C com ventilação forçada por 48 horas. Uma vez secas, as amostras foram postas em potes de plástico e acondicionadas em dessecadores ligados a uma bomba de vácuo para facilitar a penetração da solução para a impregnação (CASTRO et al., 2003).

A solução para a impregnação das amostras era composta por uma parte de resina poliéster “cristal” segundo metodologia apresentada por Murphy (1986) e uma parte de monômero de estireno. O monômero é utilizado para reduzir a viscosidade

da resina (CASTRO et al., 2003) e assim facilitar a penetração da solução na amostra coletada. Além disso, foi adicionado 5 g de pigmento fluorescente Tinopal OB (BASF®) (MURPHY; BULLOCK; TURNER, 1977), na proporção de 1 kg misturados a 1 m³ de monômero, sobre o qual também foi adicionada a resina e também um catalisador para controle do endurecimento da solução (RINGROSE-VOASE, 1991), neste caso, peróxido orgânico (Butanox M50) em 4 gotas por 10⁻³ m³ de solução.

Com a solução pronta, colocaram-se pequenas doses desta solução nos potes plásticos e ligado o vácuo por 30 minutos, sendo retiradas as amostras novamente e adicionado mais uma dose de solução, retornando ao vácuo e assim sucessivamente até a amostra estar coberta pela solução. O período em que amostra permanecia no vácuo era de no mínimo 24 horas (RINGROSE-VOASE, 1991).

Depois de endurecidos, os blocos impregnados foram cortados em 3 partes usando uma serra de diamante. Estes blocos cortados foram lixados com o auxílio de um disco rotatório e um material abrasivo o carbureto de silício de granulação mais grossa (220 mesh, com grãos de 53-62 µm) e polidas com um disco rotatório e carbureto de silício mais fino (600 mesh, grãos de 18-22 µm), mantendo a amostra sempre úmida em contato com o material abrasivo. Após serem lixados e polidos estes blocos foram utilizados para estudos de análise de imagens no Laboratório de Microscopia do Departamento de Ciência do Solo, ESALQ/USP, onde sob luz ultravioleta e em ambiente escuro, o espaço poroso (mais claro) foi destacado da matriz do solo (mais escura) pelo pigmento fluorescente utilizado.

Um bloco por profundidade e por área foi utilizado para a aquisição das imagens que foram obtidas por uma câmera digital em cores (Sony®, modelo DFW-X700), em sistema “charged couple device” (CCD), conectada a uma lupa com polarizador (Zeiss®). As imagens foram digitalizadas em 1024x768 pixels, com resolução espectral de 256 tons de cinza, em aumento de 10x, igualando um pixel a 156,25 µm². A identificação dos poros na imagem foi feita através de rotinas de programação desenvolvidas no software Noesis® Visilog 5.4.

O processo de classificação e quantificação da porosidade total, foi realizado seguindo os critérios definidos por Cooper e Vidal-Torrado (2005) e otimizado por macros desenvolvidas em linguagem Visual Basic no Microsoft® Excel (JUHÁSZ, 2007).

3.2.6 Atributos físico-hídricos

3.2.6.1 Medidas de umidade do solo

Nos principais horizontes de cada trincheira aberta em campo nos sistemas orgânico, agroflorestal e na capoeira, foram instalados sensores de umidade do solo para a realização do monitoramento *in situ* da dinâmica da água (Tabela 2), sendo que para cada horizonte selecionado, foram instalados um sensor. No sistema agroflorestal, por possuir grande diversidade de espécies vegetais, foram instalados 3 conjuntos de sensores (bateria) para três tipos de cobertura vegetal. A primeira bateria instalada na cultura da mandioca, a segunda na cultura da bracatinga e a última no espaço reservado para a cultura anual.

Neste projeto foi utilizado o modelo Water Content Reflectometer – WCR (modelo CS615-L, Campbell Scientific Inc.). Cada sensor é conectado a um multiplexador (modelo AM416, Campbell Scientific, Inc.) que tem por finalidade multiplicar o número de canais a serem lidos e registrados pelo “data logger” (CR10X, Campbell Scientific Inc.). Cada sensor realizava uma leitura com frequência de 20 minutos, sendo registrada imediatamente no “data logger”.

O procedimento de descarregar os dados armazenados no “data logger” em campo foi realizado a cada 21 dias, aproximadamente, com o auxílio de um teclado de comandos (CR10KD, Campbell Scientific, Inc.) e um módulo de memória (SM4M, Campbell Scientific, Inc.).

O período de monitoramento da umidade do solo nas trincheiras dos três tipos de cobertura vegetal foi de 29 de janeiro de 2010 a 02 de fevereiro de 2011. Além disso, os dados também foram correlacionados aos dados de precipitação de chuva coletados em uma microestação meteorológica instalado nas áreas no período de 14 de abril de 2010 a 2 de fevereiro de 2011.

Tabela 2 – Profundidade de instalação dos sensores de umidade do solo (WCR) e de coleta de amostras deformadas para calibração dos sensores da trincheira na área do sistema agroflorestal, tomate e na capoeira

Profundidade dos sensores					
Horizonte	Sistema Agroflorestal			Tomate	Capoeira
	1ª. Bateria	2ª. Bateria	3ª. Bateria	-----	-----
	Mandioca	Bracatinga	Cultura anual		
----- m -----					
A	0,07	0,10	0,10	0,10	0,10
Bi1	0,44	0,40	0,48	0,45	0,48 (Topo) 0,80 (Base)
Bi2	0,92	1,10	0,85	0,75	...
Bi3	...	...	1,30	...	...
BC	1,60	1,60	1,57	1,00	1,30
C	...	...	1,87	...	1,70

Dados de precipitação foram coletados em uma micro estação meteorológica automática instalada nas áreas. Os dados foram registrados em intervalos de 1 hora e armazenados. Com isso foi possível estabelecer a quantidade de entrada de água no sistema continuamente durante o período estudado.

Os dados de umidade do solo foram calibrados a partir da coleta de amostras deformadas de cada horizonte onde foram instalados os sensores WCR nas trincheiras.

As amostras foram passadas em peneira de malha 2 mm e depositadas em tubos de PVC de 75 mm de diâmetro e 33 cm de comprimento, onde na base inferior do tubo foram colocados papel filtro fixados com fita adesiva. Após preencher os tubos com o solo, todos os tubos foram colocados em um recipiente com água para um umedecimento inicial por ascensão capilar. Cada uma das amostras sofreu o tratamento de perda de umidade por drenagem nos tempos de 15 minutos, 1 dia, 2 dias, 4 dias e 6 dias, obtendo-se 5 valores diferentes de umidade por amostra e três repetições.

Depois de passado o tempo de drenagem de cada amostra foi realizado as medidas com a sonda CS615-L, para a determinação do tempo de propagação ou

período do sinal, em milissegundos (ms). Após a medida, a amostra foi retirada do recipiente de PVC, colocada em uma bandeja de alumínio e seca em estufa a 105°C durante 24 h para a determinação da umidade gravimétrica à base de volume (θ).

Os dados foram organizados em planilha Excel, onde foram calculadas umidades gravimétricas e as médias dos valores medidos.

As equações de calibração foram obtidas a partir do ajuste das curvas construídas a partir das umidades volumétricas e do período da onda de saída do WCR em cada tempo de drenagem (Tabelas 3 a 5). Procedimento semelhante foi descrito por Kim e Benson (2002).

As equações para o solo do SAF apresentou altos valores de R^2 para todos os horizontes analisados (Tabela 3), sendo apenas o horizonte Bi 2 que obteve o menor valor. Nesta tabela esta representada as equações de todos os horizontes das três baterias.

Tabela 3 – Equações e R^2 das três baterias para área do Sistema agroflorestal

Horizonte	Profundidade (m)	Equação	R^2
A	0,05 – 0,17	$f = 1,3196 + (-1,2631 / x)$	0,81
Bi 1	0,40 – 0,52	$f = 1,0906 + (-0,8295 / x)$	0,80
Bi 2	0,82 – 0,94	$f = 0,9795 + (-0,6775 / x)$	0,71
Bi 3	1,20 – 1,32	$f = 1,6127 + (-1,4839 / x)$	0,82
BC	1,60 – 1,72	$f = 1,6127 + (-1,4839 / x)$	0,82
C	1,85 – 1,97	$f = 1,4825 + (-1,3176 / x)$	0,93

Em que f = umidade volumétrica ($m^3 m^{-3}$); e x = período (ms) obtido pelo sensor WCR.

Para a área do tomate, os valores de R^2 também foram altos principalmente nos horizontes A e Bi 2 que obtiveram valores acima de 0,90 (Tabela 04). O menor valor de R^2 para o ajuste foi obtido pelo horizonte BC.

Tabela 4 – Equações e R^2 para área do Tomate

Horizonte	Profundidade (m)	Equação	R^2
A	0,05 – 0,17	$f = 0,6183 + (-0,346 / x)$	0,93
Bi 1	0,30 – 0,47	$f = 0,9353 + (-0,6815 / x)$	0,82
Bi 2	0,65 – 0,77	$f = 0,9844 + (-0,7304 / x)$	0,96
BC	0,85 – 0,97	$f = 0,9625 + (-0,6935 / x)$	0,71

Em que f = umidade volumétrica ($m^3 m^{-3}$); e x = período (ms) obtido pelo sensor WCR.

A área da capoeira obteve, assim como os outros tipos de cobertura, altos valores de R^2 para o ajuste das equações da calibração (Tabela 5), obtendo valores acima de 0,70. Dentre estes valores, o maior foi para o horizonte Bi (Base) e o menor para o horizonte C.

Tabela 5 – Equações e R^2 para área da Capoeira

Horizonte	Profundidade (m)	Equação	R^2
A	0,00 – 0,12	$f = 0,6952 + (-0,4581 / x)$	0,79
Bi (Topo)	0,40 – 0,52	$f = 0,7653 + (-0,4587 / x)$	0,95
Bi (Base)	0,75 – 0,87	$f = 1,1887 + (-0,9757 / x)$	0,96
BC	1,25 – 1,37	$f = 1,5811 + (-1,4595 / x)$	0,82
C	1,55 – 1,67	$f = 1,1326 + (-0,8656 / x)$	0,72

Em que f = umidade volumétrica ($m^3 m^{-3}$); e x = período (ms) obtido pelo sensor WCR.

3.2.6.2 Curva de retenção de água no solo

Para cada horizonte onde foram instalados os sensores de umidade do solo, foram coletados 3 amostras indeformadas em cilindros de $100 cm^3$ para a obtenção das curvas características de retenção de água no solo. As amostras foram saturadas e foi determinada a umidade do solo em nove pontos de potencial matricial. Os potenciais matriciais de 0, -2, -4, -6, -8, -10, -33, -70 e -100 kPa foram determinados em câmaras de pressão de Richards com placas porosas no laboratório de Física do Solo do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ-USP e os potenciais de -500 e -1500 kPa foram determinados em câmaras de pressão de Richards com placas porosas no laboratório de Física do Solo do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da USP, segundo metodologia descrita em EMBRAPA (1997).

Seguindo esses procedimentos foi possível correlacionar os potenciais matriciais e suas respectivas umidades para os horizontes.

O ajuste das curvas de retenção foi feito para o modelo bimodal de Durner (1994) utilizando o software RETC (van GENUCHTEN et al., 1991).

3.2.6.3 Condutividade hidráulica saturada (Ksat)

Amostras de solo indeformadas foram coletadas com ajuda de anéis volumétricos de 100 cm³, sendo retiradas amostras em quatro repetições dos principais horizontes das três trincheiras, das três áreas de estudo. A Ksat foi obtida de acordo com o método de carga decrescente (REYNOLDS; ELRICK, 2002). Para isso as amostras foram preparadas unindo-se dois anéis para permitir que a água ficasse armazenada sobre a amostra de solo coletada imprimindo sobre a amostra uma carga hidráulica. As amostras foram saturadas e colocadas no equipamento para aplicação da carga hidráulica (Figura 3) que consiste de um recipiente de plástico com um orifício que, quando aberto permite o escoamento da água de seu interior, estabelecendo um fluxo de água através da amostra de solo colocada no interior do equipamento. Sobre a amostra é colocado um medidor composto de uma base e duas hastes de alturas diferentes que indicarão o deslocamento de água.

O deslocamento de água entre as duas alturas (h0 e h1) no tempo (t) e a altura (L) da amostra de solo serão usados para calcular a Ksat (Eq. 02):

$$K_{sat} = \left(\frac{\phi}{\phi_s} \right)^2 \left(\frac{L}{t} \right) \ln \left(\frac{h_0}{h_1} \right) \quad (02)$$

Onde Φ = diâmetro do anel cilíndrico sem o solo (m); ϕ = diâmetro do anel cilíndrico com o solo (m); L = altura da coluna de solo (m); h0 = altura da haste maior (m); h1 = altura da haste menor (m), t = tempo gasto para a água se deslocar de uma ponta da haste à outra (s) e, Ksat = condutividade hidráulica saturada (m s⁻¹).

Figura 2 – Ilustração dos equipamentos utilizados para determinar a condutividade hidráulica saturada pelo método de carga decrescente

3.2.7 Estatística

Foram analisados os dados de porosidade do solo obtidos pela micromorfologia, valores de densidade do solo e de condutividade de água. O delineamento desta análise foi o inteiramente aleatório.

A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk (1965). Realizou-se também a análise de variância pelo teste F, com comparação de médias pelo teste de Tukey, com 5% de probabilidade.

Para realização das análises, foi utilizando o programa computacional SAS (SAS INSTITUTE, 1995).

3.3 Resultados e discussões

A classificação do solo para as trincheiras do sistema agroflorestal e o tomate é o Cambissolo Háplico Alumínico típico (Fotos 1 e 2 Figura 3) e para a trincheira na área da capoeira é o Cambissolo Háplico Alumínico plíntico (Foto 3 Figura 3), conforme o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 2006).

Foto 1 – Trincheira área do SAF

Foto 2 – Trincheira área do tomate

Foto 3 – Trincheira área da capoeira

Figura 3 – Foto das trincheiras abertas nos diferentes tipos de coberturas do solo

Estes solos são pouco desenvolvidos com horizonte B incipiente logo abaixo do horizonte A. Além disso, possuem como característica o baixo desenvolvimento da estrutura do solo no seu horizonte diagnóstico. As descrições das trincheiras de cada tipo de cobertura vegetal são apresentadas em ANEXOS N, O e P.

3.3.1 Granulometria

O sistema agroflorestal possui na camada superficial textura média, com valor de argila de 330 g kg⁻¹ e de areia 460 g kg⁻¹. Nas outras camadas, a textura é argilosa, variando de 400 a 530 g kg⁻¹ de argila. O valor de silte na camada

superficial é de 210 g kg^{-1} e diminui para as outras camadas, variando entre 70 e 80 g kg^{-1} (Figura 4).

Na área onde foi aberta a trincheira para a cultura do tomate, o solo possui textura a argilosa na maioria das profundidades analisadas, exceto na profundidade de 0,30 – 0,42 m que possui valor de 330 g kg^{-1} , sendo considerado de textura média. Para as outras profundidades, os teores de argila aumentam passando de 380 g kg^{-1} nas duas profundidades mais superficiais para 460 g kg^{-1} na última profundidade (Figura 4). Por outro lado, os valores de areia diminuem em profundidade obtendo os valores de 560 g kg^{-1} em superfície até atingir 410 g kg^{-1} na última profundidade.

A trincheira aberta na área da capoeira apresentou textura média a argilosa ao longo do perfil, com um aumento no teor de argila até a profundidade de 0,75 – 0,87 m atingindo 350 g kg^{-1} e depois uma redução para o valor de 230 g kg^{-1} na profundidade de 1,55 – 1,67 m. No sentido contrário o teor de areia diminui, com posterior aumento até atingir valor de 670 g kg^{-1} na profundidade de 1,55 – 1,67 m. Assim como nas outras trincheiras, o teor de silte permanece com pouca variação ao longo do perfil, exceto na trincheira do sistema agroflorestal aqui já comentado.

Figura 4 – Gráficos representativos da textura das camadas das trincheiras

3.3.2 Atributos Químicos

A seguir são apresentadas as tabelas com as análises químicas de rotina realizada com o objetivo de caracterizar os horizontes mais importantes estudados de cada trincheira.

O solo onde foi aberta a trincheira do sistema agroflorestal, apresentou baixa fertilidade em todo o seu perfil (Tabela 6). Entretanto, apresentou altos valores de CTC nos primeiros horizontes do solo devido aos altos valores de matéria orgânica, comuns neste sistema pela sua acumulação ao longo do tempo (SCHERR, 1990). Os valores de cálcio, magnésio, potássio e fósforo diminuem abaixo da profundidade de 0,20 m, sendo que para os dois primeiros elementos este valor iguala-se a zero em profundidade. Esta baixa presença das bases no solo trás por consequência a diminuição dos valores de SB neste solo, principalmente em profundidade e resultam em uma V% baixa para os padrões de agricultura, não ultrapassando o valor de 35,3

%. Mesmo com baixos conteúdos de bases no solo, o valor da saturação de alumínio é baixo também para todo o perfil, onde o maior valor foi de 30,3 % na última camada analisada e em sua superfície assume valores de 0,3 % e 0,7 % nas profundidades de 0,00 – 0,12 e 0,12 – 0,19 m, respectivamente.

Tabela 6 - Análise química da área Sistema agroflorestal

Horiz.	Profundidade	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	pH KCl	MO	Ca	Mg	K	P	Al ⁺³	H+Al	SB	CTC (T)	V	m
	---- m ----				gkg ⁻¹	---- mmol _c kg ⁻¹ ----			mgkg ⁻¹	----- mmol _c kg ⁻¹ -----			-----	----- % -----	
A	0,00 – 0,12	4,5	4,3	4,0	68,9	25,0	16,0	35,9	11,0	0,2	141,0	76,9	217,9	35,3	0,3
AB	0,12 – 0,19	4,5	4,2	3,9	63,5	21,0	14,0	15,9	8,2	0,4	140,2	50,9	191,1	26,6	0,7
Bi 1	0,19 – 0,72	4,5	4,0	4,0	18,9	0,0	1,0	3,7	3,6	0,7	102,0	4,7	106,7	4,4	12,1
Bi 2	0,72 – 1,08	4,4	4,0	4,0	17,8	0,0	0,0	2,3	3,6	0,6	103,6	2,3	105,9	2,2	20,4
Bi 3	1,08 – 1,55	4,4	4,1	4,1	4,9	0,0	0,0	1,2	2,0	0,4	54,8	1,2	56,0	2,1	25,5
BC	1,55 – 1,92	4,4	4,1	4,1	1,9	0,0	0,0	1,2	2,9	0,4	57,0	1,2	58,2	2,0	26,7
C	1,92 +	4,4	4,0	4,1	1,9	0,0	0,0	1,2	3,2	0,5	57,6	1,2	58,8	2,0	30,3

A análise química da área do tomate (Tabela 7) apresentou duas camadas distintas em relação à fertilidade. Na primeira temos os horizontes A e BA que possuem altos valores de pH, matéria orgânica e dos elementos cálcio, magnésio, potássio e fósforo. Resultando em altos valores de SB, CTC e V% e baixos valores de m%. A segunda camada, que tem início no horizonte Bi 1, possui fertilidade baixa, apresentando valores baixos para todos os nutrientes analisados, com exceção aos relacionados com o elemento alumínio.

Tabela 7 - Análise química da área Tomate

Horiz.	Profundidade	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	pH KCl	MO	Ca	Mg	K	P	Al ⁺³	H+Al	SB	CTC (T)	V	m
	---- m ----				gkg ⁻¹	--- mmol _c kg ⁻¹ ---			mg kg ⁻¹	----- mmol _c kg ⁻¹ -----			-----	----- % -----	
A	0,00 – 0,18	7,3	6,9	6,9	51,9	61,0	37,0	22,9	39,1	4,7	33,4	120,9	154,3	78,4	3,7
BA	0,18 – 0,22	5,8	5,2	5,0	29,5	17,0	15,0	10,9	11,2	7,1	53,6	42,9	96,5	44,5	14,2
Bi 1	0,22 – 0,66	5,0	4,3	4,2	10,0	0,0	2,0	4,1	3,7	14,9	63,4	6,1	69,5	8,8	70,8
Bi 2	0,66 – 0,85	4,9	4,2	4,2	10,0	0,0	1,0	3,1	3,2	17,3	62,0	4,1	66,1	6,3	80,7
BC	0,85 – 1,10	4,8	4,1	4,1	5,4	0,0	0,0	2,3	1,8	24,2	63,2	2,3	65,5	3,6	91,2

O solo analisado na trincheira da capoeira (Tabela 8) apresenta valor de matéria orgânica alta no horizonte A, que é responsável pela alta CTC nesta profundidade. Entretanto, os horizontes subsuperficiais possuem baixos valores de matéria orgânica, assim como da CTC. Além disso, os valores de cálcio, magnésio, potássio e fósforo diminuem em profundidade, principalmente os dois primeiros elementos, que igualam a zero seus valores a partir da profundidade do horizonte Bi (Topo). A baixa presença dos cátions no solo reduzem os valores de SB e por consequência os valores de V% em profundidade. Diferentemente, os valores de m% são altos, assumindo valores acima de 80 % nos horizontes subsuperficiais.

Tabela 8 - Análise química da área Capoeira

Horiz.	Profundidade	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	pH KCl	MO	Ca	Mg	K	P	Al ⁺³	H+Al	SB	CTC (T)	V	m
	---- m ----				g kg ⁻¹	---	mmolc kg ⁻¹	---	mg kg ⁻¹	-----	mmolc kg ⁻¹	-----	-----	%	-----
A	0,00 -0,12	5,3	4,7	4,5	55,1	25,0	12,0	3,5	12,0	5,7	87,4	40,5	127,9	31,7	12,3
Bi (Topo)	0,40 – 0,52	4,8	4,1	4,1	10,5	0,0	1,0	2,1	2,4	18,4	67,0	3,1	70,1	4,5	85,4
Bi (Base)	0,75 – 0,87	4,9	4,1	4,1	7,3	0,0	0,0	1,7	2,2	17,8	64,2	1,7	65,9	2,7	91,1
BC	1,25 – 1,37	4,9	4,1	4,1	1,6	0,0	0,0	2,5	2,4	21,3	57,2	2,5	59,7	4,7	89,3
B Plíntico	1,55 – 1,67	5,2	4,1	4,2	0,8	0,0	0,0	4,3	2,7	18,7	48,4	4,3	52,7	8,2	81,2

3.3.3 Densidade do solo, densidade de partículas e porosidade calculada

Nas tabelas seguintes são apresentados para cada trincheira, os valores médios das densidades do solo, densidade de partículas e de porosidade.

O sistema agroflorestal apresentou alta variação dos valores de densidade do solo em todo seu perfil, como demonstrado pela análise estatística, onde quase todos os horizontes obtiveram diferenças estatísticas significativas entre si, e indicando aumento em profundidade. Os menores valores de densidade foram encontrados nos horizontes A e AB (Tabela 9), estes valores foram inferiores a $1,0 \text{ Mg m}^{-3}$, semelhantes aos encontrados por Carvalho et al. (2004). Diferentemente, os horizontes subsuperficiais apresentaram densidades maiores, principalmente o BC que obteve valor de $1,53 \text{ Mg m}^{-3}$, sendo a maior densidade encontrada neste perfil.

Observando os valores de densidade de partículas, notamos a influência da matéria orgânica na redução deste atributo (REICHARDT; TIM, 2004; LIBARDI, 2005), pois nos horizontes superficiais com maior conteúdo de matéria orgânica foram observados menores valores de densidade de partícula, em oposição aos horizontes subsuperficiais que possuem baixos conteúdos de matéria orgânica e altos valores de densidade de partícula.

Os horizontes A e AB apresentaram altos valores de porosidade neste perfil, devido aos baixos valores de densidade. À medida que aumentamos a profundidade os valores de porosidade diminuem, com exceção do horizonte C. Apesar dessa diferença de porosidade entre os horizontes, este solo apresentou alta porosidade em todo o perfil, principalmente nas camadas mais superficiais, pelas melhorias dos atributos físicos que o sistema agroflorestal proporciona (NAIR, 1993).

Tabela 9 – Valores médios de densidade do solo, densidade de partículas e porosidade calculada da trincheira do Sistema Agroflorestal

Profundidade	Densidade do solo		Densidade de Partículas	Porosidade
---- m ----	-- Mg m ⁻³ --		-- Mg m ⁻³ --	-- m ³ m ⁻³ --
0,00 – 0,12	0,77	F	2,44	0,69
0,12 – 0,19	0,91	E	2,55	0,65
0,19 – 0,72	1,10	D	2,61	0,58
0,72 – 1,08	1,19	CD	2,63	0,55
1,08 – 1,55	1,35	B	2,66	0,49
1,55 – 1,92	1,53	A	2,75	0,45
1,92 +	1,25	BC	2,66	0,53

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto a profundidade na mesma coleta.

A menor densidade do solo encontrada na trincheira do tomate foi no horizonte A, que obteve valor 1,06 Mg m⁻³, apresentando diferença estatística com relação aos demais horizontes (Tabela 10). Esta baixa densidade está relacionada ao maior conteúdo de matéria orgânica presente neste horizonte que lhe confere uma estrutura granular bem desenvolvida. Os demais horizontes apresentam valores de densidade variando entre 1,40 e 1,41 Mg m⁻³, não apresentando diferença estatística entre elas.

A densidade de partículas no horizonte superficial foi o menor valor no perfil e está associado ao maior valor de matéria orgânica encontrado entre os horizontes. Nos demais horizontes a densidade de partículas variou entre 2,59 a 2,60 Mg m⁻³, próximo a um valor médio de um solo mineral sugerido pela literatura de 2,65 Mg m⁻³ (REICHARDT; TIM, 2004; LIBARDI, 2005).

A porosidade deste solo é alta, principalmente no horizonte superficial onde o valor é de 0,58 m³ m⁻³ e nos demais horizontes o valor da porosidade foi de 0,46 m³ m⁻³.

Tabela 10 – Valores médios de densidade do solo, densidade de partículas e porosidade calculada da trincheira do Tomate

Profundidade	Densidade do solo		Densidade de Partículas	Porosidade
---- m ----	-- Mg m ⁻³ --		-- Mg m ⁻³ --	-- m ³ m ⁻³ --
0,00 – 0,18	1,06	B	2,49	0,58
0,22 – 0,66	1,40	A	2,59	0,46
0,66 – 0,85	1,40	A	2,60	0,46
0,85 – 1,10	1,41	A	2,60	0,46

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto a profundidade.

A densidade do solo na trincheira da capoeira aumenta em profundidade, sendo que o horizonte A apresentou a menor densidade e apresentou diferença estatística em relação aos demais horizontes (Tabela 11). Estes valores baixos de densidade do solo na superfície do solo sob mata são comuns em relação ao solo cultivado (SILVA et al., 2008; ANDRADE et al., 2009), devido ao maior conteúdo de matéria orgânica e por não sofrer trânsito de máquinas (CUNHA et al., 2011). No horizonte Bi (Topo) a densidade do solo foi menor com relação ao Bi (Base), apresentando diferença significativa entre elas e indicando aumento de densidade em profundidade. O horizonte B plintico apresentou valor de 1,35 Mg m⁻³ e não apresentou diferença estatística significativa entre os horizontes Bi (Base) e BC.

A densidade de partículas aumentou em profundidade, acompanhando o aumento dos teores de areia deste perfil. Embora no horizonte superficial o conteúdo de areia não tenha sido baixo, o conteúdo de matéria orgânica é alto, reduzindo assim sua densidade de partículas e promovendo uma maior porosidade calculada no perfil. Esta porosidade diminui em profundidade atingindo no horizonte BC o menor valor de 0,44 m³ m⁻³, aumentando em seguida no horizonte B plintico para 0,50 m³ m⁻³.

Tabela 11 – Valores médios de densidade do solo, densidade de partículas e porosidade calculada da trincheira da Capoeira

Profundidade	Densidade do solo		Densidade de Partículas	Porosidade
---- m ----	-- Mg m ⁻³ --		-- Mg m ⁻³ --	-- m ³ m ⁻³ --
0,00 – 0,05	1,07	C	2,52	0,58
0,05 – 0,50	1,25	B	2,60	0,52
0,50 – 0,80	1,43	A	2,62	0,45
0,80 – 1,30	1,47	A	2,63	0,44
1,30 – 1,70	1,35	AB	2,67	0,50

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto a profundidade.

3.3.4 Micromorfologia e distribuição de poros no solo por análise de imagens

A análise de imagens é usada cada vez mais para determinar o tamanho dos poros e sua distribuição (STOOPS, 2003), visto sua importância na Influência direta dos fenômenos de armazenamento e movimento da água (LAWRENCE, 1977).

Neste trabalho a quantificação dos poros usou os critérios definidos por Bullock et al. (1985), onde os poros de diâmetros entre 50 e 500 micrômetros são considerados mesoporos e os poros de diâmetros entre 500 a 5000 micrômetros os macroporos.

O horizonte Ap da trincheira do SAF possui porosidade de 25,86% com predomínio de poros tipo complexo de tamanho grande (Figura 5), que proporciona alta infiltração de água, devido ao alto valor de porosidade calculado e baixo valor de densidade do solo (Tabela 9), assim como possui textura média e estrutura granular (ANEXO N). Este horizonte também possui em menor quantidade poros do tipo alongado, arredondados e complexos do tamanho pequeno e poros do tipo complexo de tamanho médio.

No horizonte Bi 1 apesar de obter 25,08% de porosidade total, semelhante ao anterior, a distribuição dos tipos de poros muda com relação ao da superfície, onde os poros do tipo arredondados, alongados e complexos do tamanho pequeno aumentam sua participação na porosidade e os poros do tipo complexo de tamanho grande diminuem. O aumento da densidade do solo, a mudança na textura (média para argilosa) e a presença da estrutura em blocos são fatores na alteração dos tipos e principalmente do tamanho dos poros, fazendo com que este horizonte mude

seu comportamento, aumentando a retenção de água em detrimento da drenagem, como será visto na próxima seção. Em Bi 2 a porosidade aumenta para 27,40% e há aumento nos poros do tipo complexo de tamanho grande e redução dos poros de tamanho pequeno, devido à estrutura em blocos angulares que se desfazem em granulares, aumentando a porosidade neste horizonte.

Para os horizontes Bi 3, BC e C a porosidade foi de 17,90%, 14,94% e 14,02%, respectivamente, sendo menores do que os horizontes anteriores, como visto nos dados de porosidade calculada (Tabela 9). Além disso, a presença de estrutura em blocos angulares de tamanho médio fazem com que os poros do tipo complexo de tamanho grande diminuam, sendo igual ou menor aos poros do tipo arredondados, alongados e complexos de tamanho pequeno, proporcionando condições a estes horizontes maior retenção de água.

Figura 5 – Distribuição da porosidade total (PT), segundo a forma (arredondados; alongados; complexos) e o tamanho dos poros (diâmetro: pequeno - 12,49 – 124,90 μm; médio - 124,90 – 394,97 μm; grande - >394,97 μm) do Sistema agroflorestal

Figura 5 – Distribuição da porosidade total (PT), segundo a forma (arredondados; alongados; complexos) e o tamanho dos poros (diâmetro: pequeno - 12,49 – 124,90 µm; médio - 124,90 – 394,97 µm; grande - >394,97 µm) do Sistema agroflorestal

A porosidade no horizonte A da trincheira da cultura do tomate é de 28,54% (Figura 06) e foi a maior com relação aos outros horizontes medidos neste perfil devido à menor densidade do solo e sua maior porosidade (Tabela 10), assim como a presença da estrutura granular bem desenvolvida (ANEXO O). O tipo de poro predominante foi o complexo de tamanho grande, responsável pela drenagem de água no solo. Os poros arredondados e alongados pequenos e os poros complexos médios compõem o restante da porosidade neste horizonte.

O horizonte Bi 1 apresentou valor de porosidade de 17,81%, sendo que os poros arredondados e alongados de tamanho pequenos têm participação menor com relação aos poros complexos grandes, fazendo com que este horizonte armazene mais água do que o horizonte superficial. Este mesmo comportamento é visto no horizonte Bi 2, onde a porosidade é de 16,81% e a distribuição de poros é semelhante ao horizonte anterior, sendo que os poros do tipo arredondados de tamanho pequeno participam menos neste horizonte, devido à mudança na estrutura do solo com relação à superfície, passando de estrutura granular para blocos angulares de tamanho médio.

Neste perfil, além dos horizontes aqui descritos, foi coletado o horizonte BC para a análise de imagem, esta amostra sofreu todos os procedimentos descritos para a preparação da amostra até chegar na etapa de análise da imagem. Nesta

etapa, não foi possível realizar a análise pelo software Noesis® Visilog 5.4, pois este horizonte apresentou grãos de quartzo milimétrico como observada na descrição morfológica (ANEXO O). Este material ao ser submetido a luz negra para diferenciar os poros da matriz do solo, apresentou comportamento de poro na análise, aumentando o valor da porosidade do solo. Em função deste problema, não será apresentado a distribuição dos poros deste horizonte.

Figura 6 – Distribuição da porosidade total (PT), segundo a forma (arredondados; alongados; complexos) e o tamanho dos poros (diâmetro: pequeno - 12,49 – 124,90 μm; médio - 124,90 – 394,97 μm; grande - >394,97 μm) do Tomate

Na trincheira aberta na capoeira, encontramos o horizonte A com porosidade de 31,89%, sendo que o poro do tipo complexo de tamanho grande representa a maior fração da porosidade neste horizonte e menor fração é representada pelos poros do tipo arredondados, alongados e complexos pequenos e por poros complexos médios. Esta alta porosidade é atribuída à baixa densidade e alta porosidade (Tabela 11) do solo neste horizonte, assim como pela estrutura granular

bem desenvolvida (ANEXO P). O horizonte Bi foi analisado em duas profundidades, sendo que uma amostra foi coletada próximo ao seu topo e a outra em sua base. Próxima do seu topo, a porosidade foi de 22,91% e na sua base o valor de 23,69%. Esta redução com relação ao horizonte superficial é em função da modificação da estrutura granular da superfície para estrutura em blocos, reduzindo a porosidade do solo. Apesar dos valores próximos na análise de imagens, estes apresentaram diferenças na densidade e porosidade calculada (Tabela 11). A participação dos poros complexos grandes na porosidade destes dois horizontes diminuiu com relação ao horizonte superficial, mas ainda sim predominam, entretanto os poros arredondados, alongados e complexos pequenos aumentaram atingindo quase 10 % da porosidade total.

Os horizontes BC e B plíntico que foram coletados e preparados, sofreram o mesmo problema encontrado para o horizonte BC da trincheira do tomate, e não foi possível realizar a análise de imagem destes dois horizontes.

Figura 7 – Distribuição da porosidade total (PT), segundo a forma (arredondados; alongados; complexos) e o tamanho dos poros (diâmetro: pequeno - 12,49 – 124,90 μm; médio - 124,90 – 394,97 μm; grande - >394,97 μm) da capoeira

3.3.5 Curva de retenção de água no solo

A análise da curva de retenção de água dos solos estudados nos permite identificar um sistema de dupla porosidade nos três tipos de cobertura vegetal, principalmente nos horizontes mais superficiais. O primeiro ponto de inflexão para todas as curvas de retenção dos solos estudados ocorrem sob baixos potenciais matriciais, entre -1 e -3 kPa, como também visto por Carducci et al. (2011). A segunda inflexão, nestes solos, ocorreu próximo dos potenciais de -500 e -1500 kPa, como ocorre em solos de clima temperado (DEXTER; RICHARD, 2009) e diferente dos solos de regiões de clima tropical ou solos bastante intemperizados onde a segunda inflexão normalmente ocorre em potenciais mais altos, como por exemplo, entre -10.000 e -20.000 kPa (CARDUCCI et al., 2011).

Este comportamento bimodal é atribuído à existência de duas regiões distintas com propriedades hidráulicas contrastantes, que podem ser denominadas como um meio de porosidade dupla (LEWANDOWSKA et al., 2008). As curvas de retenção dos horizontes superficiais de todas as trincheiras são os que possuem este comportamento bimodal mais pronunciado. Nestas curvas vemos duas regiões bem definidas, uma região está localizada nos potenciais altos da curva de retenção, onde abaixo dos -6 kPa podemos separar os macros e mesosporos dos microporos pela tensão de água (RESCK, 2002). Este valor corresponde a um diâmetro de poro de 50 μm , calculado a partir da relação teórico em que o raio dos poros é igual ao potencial matricial ou de sucção de água (MARSHALL, 1959). A outra região está localizada nos potenciais mais baixos na curva de retenção, onde o tamanho dos poros são menores e permitem a maior retenção de água no solo, além da curva de retenção, também vemos na distribuição dos poros pela análise de imagens o predomínio dos poros de tamanho pequeno e poros do tipo arredondados e alongados, que são responsáveis pela retenção de água no solo.

Para todos os solos e horizontes analisados, os ajustes da curva de retenção realizados pelo programa RETC obtiveram valor do coeficiente de determinação (R^2) maior do que 98%, mostrando que o modelo bimodal de Durner (1994) utilizado para o ajuste foi satisfatório, assim como citado por Carducci et al. (2011).

No sistema agroflorestal, no horizonte Ap, a inclinação da curva de retenção de água em relação ao eixo do potencial matricial antes da primeira inflexão é alta (Figura 8), indicando baixa capacidade de retenção de água. Isto é devido à alta porosidade do solo (Tabela 9) e o tipo de poro que foi encontrado neste horizonte,

que privilegiam a drenagem da água em detrimento da sua retenção (Figura 5). Já no horizonte AB nota-se uma redução na sua porosidade passando de mais de 60 % no horizonte superficial para próximo de 50%, além disso, há o início da suavização da primeira inflexão da curva de retenção. Essa suavização da primeira inflexão acontece também nos horizontes subsuperficiais, devido à mudança do tipo de poro presente, à diminuição da porosidade e ao tamanho de poros, que privilegiam a retenção de água e, além disso, estão associados à baixa condutividade hidráulica (agregados e matriz porosa) (LEWANDOWSKA et al., 2008)

Os horizontes Bi 1 e Bi 2 possuem alta semelhança em suas curvas de retenção, em função da similaridade da distribuição dos tipos e tamanhos de poros visto na análise de imagem (Figura 5), onde os valores dos poros complexos grandes são ainda marcantes, mas inicia-se o aumento da participação dos poros pequenos, fazendo com que a distribuição dos poros se torne mais homogênea, diminuindo o comportamento bimodal.

Simultaneamente, os horizontes Bi 3 e BC apresentam também comportamento semelhante entre eles, como visto na análise de imagens, os poros de tamanho pequenos predominam nestes dois horizontes, conferindo-lhes uma maior capacidade de retenção de água nos potenciais mais baixos e altos. O último horizonte apresentou porosidade alta que pode ser confirmada pela curva de retenção (potencial matricial nulo) e pela porosidade calculada. Apesar disso, na análise de imagens, os poros pequenos são os que prevalecem na distribuição dos poros, aumentando a retenção de água deste horizonte, mesmo em potenciais mais altos, sendo o horizonte com maior capacidade de retenção de água no solo.

Figura 8 – Curvas de retenção dos horizontes na trincheira na área do Sistema agroflorestal com valores observados e ajustados de umidade volumétrica do solo

O horizonte A na trincheira da área da cultura do tomate, apresenta maior gradiente (Figura 9), indicando que a água é drenada rapidamente e é pouco retida. Este comportamento corrobora com a descrição do solo que apresenta estrutura granular bem desenvolvida, e poros do tipo complexos grandes que proporcionam alta porosidade no solo (Figura 6) e favorecem a drenagem da água.

Com a redução da porosidade, aumento da densidade do solo e a melhor distribuição dos tipos de poros pela análise de imagem nos horizontes seguintes, estes solos adquirem alta capacidade de retenção de água, mesmo nos potenciais mais baixos, diminuindo a inclinação da curva com relação ao eixo do potencial matricial e também suavizando as duas inflexões da curva de retenção.

Figura 9 – Curvas de retenção dos horizontes da trincheira na área do Tomate com valores observados e ajustados de umidade volumétrica do solo

A retenção de água no horizonte A do solo da trincheira da capoeira é baixa nos potenciais menores (Figura 10), devido à estrutura granular presente neste horizonte que confere alta porosidade, aumentando a drenagem da água e diminuindo a retenção. Outro fator que contribui é o tipo de poro que colabora com

esta drenagem da água, estes poros são do tipo complexo de tamanho grande, que neste horizonte representa a maior parte da porosidade.

As duas curvas de retenção de água do horizonte Bi (topo e base do horizonte) foram semelhantes em seu comportamento de retenção de água, devido à semelhança na distribuição dos poros encontrados na análise de imagens. Esta distribuição mais homogênea permite que este horizonte retenha mais água nos potenciais mais altos.

O horizonte BC e o C também foram semelhantes no comportamento da retenção de água. Nos potenciais matriciais altos, a influência de poros estruturais são maiores (RAWLS et al., 1991) e, nesse caso, a estrutura em blocos angulares dos horizontes confere-lhes maior retenção de água nessa região. Entretanto, nos potenciais mais baixos onde a composição granulométrica e mineralógica assume maior importância pela sua superfície específica para a adsorção das moléculas de água (GUPTA; LARSON, 1979; MACHADO et al., 2008) a retenção nesta região da curva diminuiu pelo menor teor de argila presente nestes horizontes.

Figura 10 – Curvas de retenção dos horizontes da trincheira na área da Capoeira com valores observados e ajustados de umidade volumétrica do solo

Figura 10 – Curvas de retenção dos horizontes da trincheira na área da Capoeira com valores observados e ajustados de umidade volumétrica do solo

3.3.6 Condutividade hidráulica saturada

A análise da condutividade hidráulica saturada nas trincheiras estudadas, foi feita em paralelo com os dados obtidos da porosidade calculada e pela análise de imagens, onde nesta última descreve-se a distribuição da porosidade de acordo com a sua forma e tamanho, influenciando nos fenômenos de armazenamento e movimento de água no solo.

No sistema agroflorestal, as condutividades hidráulicas nos dois primeiros horizontes são consideradas altas (Tabela 12), se considerarmos a classificação proposta por Reynolds e Elrick (1986), onde os valores de K_{fs} entre 10^{-4} e 10^{-5} m s^{-1} são meios porosos de alta permeabilidade, o valor de K_{fs} de 10^{-6} m s^{-1} é classificado como permeabilidade intermediária e o K_{fs} de 10^{-7} e 10^{-8} m s^{-1} como sendo um meio poroso de baixa permeabilidade. Nestes dois horizontes a porosidade calculada é alta e a distribuição dos tipos de poros demonstra um predomínio dos poros tipo complexos grandes que podem determinar o aumento na condutividade hidráulica. Além disso, analisando a curva de retenção, nota-se que há uma grande macroporosidade nestes horizontes, principalmente no horizonte A, contribuindo para a maior condutividade hidráulica do solo. Na literatura sabe-se que os SAFs possuem altas condutividades hidráulicas quando comparadas a outros sistemas de manejo (BHARATI et al., 2002; SEOBI, 2005), como por exemplo cultivo em linha, campos cultivados e pastagens.

Os outros horizontes, Bi 2, Bi 3 e BC, apresentaram valores de condutividade intermediária, por possuírem menor porosidade com relação aos horizontes

anteriores e pelos tipos e o tamanho pequeno de poros presentes, que favorecem a retenção de água.

Tabela 12 - Condutividade hidráulica saturada média nos principais horizontes da trincheira na área do Sistema agroflorestal

Horizonte	Profundidade	Condutividade Hidráulica
	----- m -----	----- m s ⁻¹ -----
Ap	0,00 – 0,12	$2,61 \times 10^{-04}$
Bi 1	0,19 – 0,72	$1,23 \times 10^{-05}$
Bi 2	0,72 – 1,08	$5,36 \times 10^{-06}$
Bi 3	1,08 – 1,55	$8,92 \times 10^{-06}$
BC	1,55 – 1,92	$1,95 \times 10^{-06}$

O horizonte A da trincheira do tomate apresentou a maior condutividade deste perfil (Tabela 13), por possuir uma alta porosidade (Tabela 10), confirmada também pela curva de retenção nos potenciais mais baixos (Figura 9) e pelos poros do tipo complexos de tamanho grandes (Figura 6).

Os horizontes Bi 1 e Bi 2 apresentam valores intermediários de condutividade hidráulica, pois obtiveram valores de porosidade, distribuição dos poros e as curvas de retenção semelhantes. Estes valores foram menores do que o horizonte superficial, obtendo assim, valores inferiores de condutividade hidráulica.

Analisando a curva de retenção do horizonte BC, encontramos uma distribuição dos poros mais uniforme que confere a este horizonte uma maior capacidade de retenção de água e menor condutividade hidráulica, sendo assim, explicada a baixa condutividade hidráulica deste horizonte.

Tabela 13 - Condutividade hidráulica saturada média nos principais horizontes da trincheira da área do Tomate

Horizonte	Profundidade	Condutividade Hidráulica
	----- m -----	----- m s ⁻¹ -----
A	0,00 – 0,18	$3,46 \times 10^{-04}$
Bi 1	0,22 – 0,66	$3,56 \times 10^{-06}$
Bi 2	0,66 – 0,85	$5,81 \times 10^{-06}$
BC	0,85 – 1,10	$3,89 \times 10^{-07}$

Na trincheira da capoeira, os valores de condutividade hidráulica do solo foram intermediários a baixos em todo o perfil (Tabela 14). No horizonte A e C, a condutividade hidráulica foi classificada como intermediária, mesmo sendo os maiores valores de condutividade hidráulica analisada entre os horizontes desta trincheira. Esta maior condutividade hidráulica nestes horizontes é explicada pela maior porosidade encontrada na curva de retenção nos potenciais mais baixos (Figura 10) e no horizonte A a presença de poros do tipo complexos de tamanho grandes que aumentam a condutividade hidráulica do solo.

Os demais horizontes, Bi, BC e o B plíntico, apresentaram condutividades hidráulicas baixas devido a suas menores porosidades (Tabela 11) do solo e valores mais altos de densidade. No horizonte Bi, a baixa condutividade é evidenciada pela sua distribuição dos tipos e tamanho de poros ser homogênea (Figura 7), assim reduzindo a condutividade hidráulica do solo. Nos Horizontes Bc e B plíntico nota-se nas suas descrições a presença de mosqueados, indicando que estes horizontes permanecem mais tempo úmidos corroborando com a baixa condutividade de água nestes horizontes.

Tabela 14 - Condutividade hidráulica saturada média nos principais horizontes da trincheira na área da Capoeira

Horizonte	Profundidade ----- m -----	Condutividade Hidráulica ----- m s ⁻¹ -----
A	0,00 – 0,07	$1,43 \times 10^{-06}$
Bi	0,27 – 1,00	$6,63 \times 10^{-07}$
BC	1,00 – 1,45	$9,57 \times 10^{-07}$
B plintico	1,45 – 1,65	$7,58 \times 10^{-07}$
C	1,65 – 2,00	$6,16 \times 10^{-06}$

3.3.7 Variação sazonal da umidade do solo

A seguir serão apresentados os gráficos com a variação sazonal da umidade do solo ao longo do tempo de estudo juntamente com os dados pluviométricos das áreas.

O horizonte A na 1ª bateria de sensores que foi instalada sob a cultura da mandioca, apresentou alta variação na umidade do solo ao longo do tempo. Essa variação está ligada a cada evento pluviométrico, sendo que, por exemplo, no período entre os meses de agosto e setembro de 2010, onde a precipitação foi baixa, o solo apresentou os menores valores de umidade, ficando abaixo do potencial de -1500 kPa se analisarmos a curva de retenção (Figura 8). Avaliando a curva de retenção, é possível ver que este horizonte não possui uma boa retenção de água nos potenciais mais altos. Este comportamento é explicado pelo alto valor da porosidade do solo que lhe permite obter altos valores de condutividade hidráulica (Tabela 12), facilitando a drenagem da água. Além dos atributos físicos explicarem esta baixa umidade do solo no período referido, outra explicação é a rasa profundidade da instalação (0,07 m) do sensor nesta bateria somado à menor cobertura vegetal oferecida pela cultura da mandioca, apresentando um cenário de alta insolação fazendo com que o solo tenha sua umidade reduzida fortemente.

Os horizontes Bi 1 e Bi 2 obtiveram valores de umidade maiores do que o horizonte A, pois possuem características de maior retenção de água no solo, como verificado nas suas curvas de retenção. Esses dois horizontes apresentaram semelhanças nos valores de curva de retenção de água e na distribuição dos poros pela análise de imagens, fazendo com que obtivessem variação baixa ao longo do tempo nos valores de umidade. Menor variação também foi encontrada no horizonte

BC desta trincheira que apresentou o maior valor de umidade do solo por todo o tempo de estudo. Obtendo valores muito próximos da saturação e acima da capacidade de campo (10 kPa), indicando que este horizonte permanece úmido praticamente o tempo inteiro, assim como os horizontes Bi 1 e 2.

Figura 11 - Efeito das chuvas sobre a umidade em diversos horizontes da trincheira do sistema agroflorestal 1ª. Bateria (Mandioca). Umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) a cada 20 minutos. Volume de chuva (mm) a cada 1 hora. O “?” no gráfico representa ausência de dados

Na mesma trincheira da área do sistema agroflorestal, mas voltado para a linha das árvores (Bracatinga) foi instalada a 2ª bateria de sensores de umidade nos principais horizontes (Figura 12). Neste lado, vemos um comportamento semelhante

para os mesmo horizontes apresentados anteriormente, onde no horizonte A houve a maior variação de umidade no solo devido à alta porosidade e condutividade de água, confirmada pela sua curva de retenção (Figura 08) e os horizontes mais subsuperficiais maior retenção de água no solo, ficando por mais tempo o solo úmido ao longo do tempo.

Figura 12 - Efeito das chuvas sobre a umidade em diversos horizontes da trincheira do sistema agroflorestal 2ª. Bateria (Bracatinga). Umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) a cada 20 minutos. Volume de chuva (mm) a cada 1 hora. O "?" no gráfico representa ausência de dados

Na 3ª. bateria de sensores instalados na trincheira do sistema agroflorestal no espaço destinado as culturas anuais, mas que durante o tempo estudado permaneceu com mato ou simplesmente roçado, as umidades do solo sofreram pouca variação com relação aos horizontes aqui já discutidos (Figura 13). A diferença é a inclusão dos horizontes Bi 3 e C, os quais nos anteriores não foram instalados. O horizonte Bi 3 foi o que possuiu maior umidade ao longo do tempo. Este horizonte apresenta alta capacidade de retenção de água (Figura 08), condutividade hidráulica intermediária (Tabela 12) e predomínio dos poros arredondados, alongados e complexos pequenos (Figura 05) que colaboram na maior retenção de água no solo neste horizonte.

O Horizonte C obteve comportamento semelhante ao BC com relação a umidade do solo medido pelos sensores ao longo do tempo, fazendo com que no gráfico elas ficassem sobrepostas.

Figura 13 - Efeito das chuvas sobre a umidade em diversos horizontes da trincheira do sistema agroflorestal 3ª. Bateria (Cultura anual). Umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) a cada 20 minutos. Volume de chuva (mm) a cada 1 hora. O “?” no gráfico representa ausência de dados

De modo geral, as umidades do sistema agroflorestal foram altas ao longo do tempo para os horizontes subsuperficiais, ficando próximas ou acima da capacidade de campo (10 kPa), indicando alta disponibilidade de água para as plantas durante o período de estudo em profundidade. Esta alta disponibilidade está relacionada também a boa distribuição de chuvas desta região e também ao comportamento físico-hídrico do solo que nestes horizontes possuem boa retenção de água.

Um fato observado nos valores de umidade do solo para os sensores instalados no horizonte A para ambas as baterias de sensores, foi a diferença de umidade ao longo do tempo para o mesmo horizonte. Todos eles apresentaram variação ao longo do tempo em função principalmente pela presença ou ausência de chuva, sendo a umidade deste horizonte controlada pela pluviosidade e também pelos seus atributos físicos. Mas a intensidade desta variação foi controlada pelo uso do solo naquela região sobre os sensores. Vemos no gráfico (Figura 14) que as maiores variações de umidade são atribuídas ao uso com mandioca e a área com mato, sendo mais intensa na mandioca pelo fato já discutido. Entretanto, a umidade do solo no uso sobre Influência das árvores, a variação da umidade foi menor, mostrando a grande importância das árvores na redução das perdas de água no solo e também na sua manutenção. Este micro clima oferecido pelas copas das árvores, proporcionou a esta região do SAF maior umidade no solo e maior disponibilidade de água ao longo do tempo.

Figura 14 – Comparação do efeito das chuvas sobre a umidade entre os usos do solo no horizonte A da trincheira do sistema agroflorestal. Umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) a cada 20 minutos. Volume de chuva (mm) a cada 1 hora. O “?” no gráfico representa ausência de dados

Em superfície, a oscilação da umidade na trincheira da área do tomate, não foi alta, mas seguiu imediatamente os eventos pluviométricos (Figura 15). Esta umidade foi menor com relação aos outros horizontes, devido as suas características físico-hídricas serem favoráveis à alta drenagem e baixa retenção de água, mesmo assim, o horizonte A e os demais, permanecem com umidade acima da capacidade de campo (10 kPa), sugerindo que as plantas neste local possuem alta disponibilidade de água no solo ao longo do tempo.

O horizonte logo abaixo, Bi 1 foi o que apresentou maior variação ao longo do tempo e foi também o que por mais tempo reteve a água, liberando lentamente a água para os horizontes subjacentes devido a sua baixa condutividade hidráulica (Tabela 13). Assim como o Bi 1, os horizontes Bi 2 e BC possuíram valores altos de

umidade e variaram pouco ao longo do tempo, ficando acima da capacidade de campo e muito próximos dos valores de saturação de cada horizonte.

Figura 15 - Efeito das chuvas sobre a umidade em diversos horizontes da trincheira na área do Tomate. Umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) a cada 20 minutos. Volume de chuva (mm) a cada 1 hora. O “?” no gráfico representa ausência de dados

A umidade do horizonte A na trincheira da capoeira apresentou baixa variação e seus valores foram em média menores com relação aos outros horizontes ao longo do tempo (Figura 16). Este baixo valor de umidade do solo comparado aos outros horizontes é devido a baixa retenção de água (Figura 10) e altos valores de

condutividade hidráulica (Tabela 14). O sensor de umidade neste horizonte não foi sensível em detectar a alteração da umidade em todos os eventos chuvosos. Somente chuvas maiores de aproximadamente 10 mm faziam com que a umidade do solo sofresse alteração. Este comportamento pode ser explicado talvez pela interceptação da chuva pela vegetação da capoeira ou pela passagem rápida da água no solo neste horizonte devido ao seu alto valor de porosidade e alta condutividade hidráulica.

O Horizonte 1Bi (Topo) apresentou valores de umidade maiores em relação ao horizonte A, em função da diferença na distribuição dos poros neste horizonte, onde os poros complexos grandes diminuem em comparação ao horizonte superficial, favorecendo a maior retenção de água. Assim como o horizonte A o 1Bi (Topo) também não foi sensível a eventos pluviométricos menores que 10 mm, não obtendo oscilações bruscas da sua umidade ao longo do tempo. Diferentemente dos dois horizontes anteriores, na base do horizonte 2Bi, observou-se variação entre os valores de umidade do solo a cada evento pluviométrico.

O Horizonte BC apresentou baixa variação ao longo do tempo nos valores de umidade, assim como o maior valor entre os horizontes, pois apresenta maior densidade e menor porosidade (Tabela 11) e baixa condutividade hidráulica, favorecendo maior retenção de água (Figura 10).

No horizonte mais profundo, também foi encontrado variação ao longo do tempo nos valores de umidade do solo. Esta variação é atribuída a sua condutividade hidráulica maior em relação ao horizonte BC e também a presença de maiores valores de areia neste horizonte.

Figura 16 - Efeito das chuvas sobre a umidade em diversos horizontes da trincheira na área da Capoeira. Umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) a cada 20 minutos. Volume de chuva (mm) a cada 1 hora. O “?” no gráfico representa ausência de dados

Em geral para todos os horizontes de todas as trincheiras, as umidades do solo são altas ao longo do tempo, com exceção dos horizontes A do sistema agroflorestal que possuíram alta variação durante o estudo. Em subsuperfície a umidade do solo é rapidamente alterada após o evento chuvoso, alterando com maior ou menor intensidade entre os horizontes, revelando que a água apesar da alta retenção no solo ela se movimenta em profundidade.

3.4 Conclusões

1 - As árvores do sistema agroflorestal oferecem maior proteção à umidade do solo diminuindo perdas por evaporação.

2 - Os atributos físicos-hídricos do solo explicam os resultados da dinâmica da água no solo destes três tipos de cobertura vegetal.

3 – A distribuição dos poros vista na análise de imagem e a alta porosidade calculada encontrada, principalmente nos horizontes superficiais, concordam com a presença de duas regiões com propriedades hidráulicas contrastantes que confere o comportamento bimodal das curvas de retenção.

4 - Os poros complexos grandes são responsáveis pelos altos valores de condutividade hidráulica nestes solos e são determinantes no funcionamento físico hídrico do solo.

5 - Para todos os tipos de cobertura vegetal, não há escassez de água ao longo do tempo, devido aos altos índices pluviométricos e sua distribuição regular, assim como pelos atributos do solo que oferecem em profundidade altos valores de umidade do solo.

Referências

ANDRADE, R.S.; STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 411-418, 2009.

BHARATI, L.; LEE, K.H.; ISENHART, T.M.; SCHULTZ, R.C. Soil water infiltration under crops, pasture, and established riparian.buffer in Midwest USA. **Agroforestry Systems**, Dordrecht ,v. 56, p. 249–257, 2002.

CAMARGO, O.A. de; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: IAC, 1986. 94 p. (Boletim Técnico, 106).

CARDUCCI, C.E.; OLIVEIRA, G.C.; SEVERIANO, E.C.; ZEVIANI, W.M. Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a equação duplo van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 77-86, 2011.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W.J.; ARMANDO, M.S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1153-1155, 2004.

CASTRO, S.S.; COOPER, M.; SANTOS, M.C.; VIDAL-TORRADO, P.

Micromorfologia do solo: bases e aplicações. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: UFV, 2003. v. 3, p. 107-164.

COOPER, M.; VIDAL-TORRADO, P. Caracterização morfológica, micromorfológica e físico-hídrica de solos com horizonte B nítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 581-595, 2005.

COOPER, M.; DALLA ROSA, J.; MEDEIROS, J.C.; OLIVEIRA, T.C. de; TOMA, R.S.; JUHÁSZ, C.E.P. Hydro-physical characterization of soils under tropical semi-deciduous Forest. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 69, n. 2, p. 152-159, 2012.

CUNHA, E.Q.; STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A.; FERREIRA, E.P.B.; DIDONET, A.D.; LEANDRO, W.M. Sistema de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I – Atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 589-602, 2011.

CURMI, P. Relação entre o espaço poral do solo e seu funcionamento hídrico. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; FREITAS, S.S. (Coord.). **Responsabilidade social da ciência do solo:** e os simpósios Microbiologia do solo: só simbioses? e A importância do conhecimento da cobertura pedológica: a análise estrutural. Campinas: SBCS, 1988. p. 447-454.

DEXTER, A.R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 201-214, 2004.

DEXTER, A.R.; RICHARD, G. Tillage of soils in relation to their bi-modal pore size distributions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, p. 113-118, 2009.

DURNER, W. Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure. **Water Resources Research**, Washington, v. 30, p. 211–233, 1994.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solo, 1997. 212 p.

_____. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Serviço de Produção de Informação; Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Embrapa Solos, 2006. 412 p.

GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy; Soil Science Society of America, 1986. pt. 1. Physical and mineralogical methods, p. 383-411. (Agronomy Series, 9).

GUPTA, S.C.; LARSON, W.E. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter content and bulk density. **Water Resources Research**, Washington, v. 15, p. 1633-1635, 1979.

INTERNATIONAL CENTER FOR RESEARCH IN AGROFORESTRY. **Agroforestry at the service of farmers and the environment**: annual. Nairobi, 1995. 239 p.

JUHÁSZ, C.E.P. **Relação solo-água-vegetação em uma topossequência localizada na Estação Ecológica de Assis, SP**. 2005. 110 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

JUHÁSZ, C.E.P.; COOPER, M.; CURSI, P.R.; KETZER, A.O.; TOMA, R.S. Savanna woodland soil micromorphology related to water retention. **Scientia agrícola**, Piracicaba, v. 64, n. 4, p. 344-354, 2007.

KIM, K.C.; BENSON, C.H. **Water content reflectometer calibrations for final cover soils**. Madison: GeoEngineering Report, n. 02-12, nov. 2002. 111 p.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Armazenamento de água no solo e resistência à penetração. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12., 1998, Fortaleza. **Resumos expandidos...** Campinas: SBSC; Fortaleza: UFC, 1998. p. 163-164.

LAWRENCE, G.P. Measurement of pore sizes in fine-textures soils: a review of existing techniques. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 28, p. 527-540, 1977.

LEWANDOWSKA, J.; NGOC, T.D.T.; VAUCLIN, M.; BERTIN, H. Water drainage in double-porosity soils: experiments and micro-macro modeling. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, Reston, v. 134, n. 2, p. 231-243, 2008.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 2005. 335p.

MA, D.; SHAO, M. Simulating infiltration into stony soils with a dual-porosity model. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 59, p. 950-959, 2008.

MACHADO, J.L.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; SCAPIM, C.A. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 495-502, 2008.

MARSHALL, T.J. **Relations between water and soil**. Farnham Royal: CAB International, 1959. 91 p. (Technical Communication, 50).

MURPHY, C.P.; BULLOCK, P.; TURNER, R.H. The measurement and characterization of voids in soil thin sections by image analysis. Part I. Principles and techniques. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 28, p. 498-508, 1977.

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

OLIVEIRA, R.S.; BEZERRA, L.; DAVIDSON, E.A.; PINTO, F.; KLINK, C.A.; NEPSTAD, D.C.; MOREIRA, A. Deep root function in soil water dynamics in cerrado savannas of central Brazil. **Functional Ecology**, Oxford, v. 19, p. 574–581, 2005.

RAWLS, W.J.; GISH, T.J.; BRAKENSIEK, D.L. Estimating soil water retention from soil physical properties and characteristics. **Advances in Soil Sciences**, New York, v. 16, p. 213-234, 1991.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera**: conceitos, processos e aplicações. Barueri: Manole, 2004. 478 p.

RESCK, D.V.S. Perspectivas do uso e manejo dos solos no Cerrado. In: ARAÚJO, Q.R. (Org.). **500 anos de uso do solo no Brasil**. Ilhéus: Editus, 2002. p. 218-237.

REYNOLDS, W.D.; ELRICK, D.E. A method for simultaneous in situ measurement in the vadose zone field saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the conductivity-pressure head relationship. **Ground Water Monitoring Review**, Westerville, v. 6, p. 84-95, 1986.

_____. Constant head well permeameter (vadose zone). In DANE, J.H.; TOPP, G.C. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: SSSA, 2002. pt. 4: Physical methods, p. 844-858. (Book Series, 5).

RINGROSE-VOASE, A.J. Micromorphology of soil structure: description, quantification, application. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 29, p. 777-813, 1991.

RODRIGUES, G.S.; CAMPANHOLA, C. Sistema integrado de avaliação de impacto ambiental aplicado a atividades do Novo Rural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 445-451, 2003.

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

SANTOS, G.G.; SILVA, E.M.; MARCHÃO, R.L.; SILVEIRA, P.M.; BRUAND, A.; JAMES, F.; BECQUER, T. Analysis of physical quality of soil using the water retention curve: validity of the S-index. **Comptes Rendus Geoscience**, Cedex, v. 343, p. 295-301, 2011.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **User's guide**: release 8.0. 2nd ed. Cary: SAS Institute, 1995. 1686 p.

SCHERR, S.J. **The diagnosis and design approach to agroforestry project planning and implementation examples from Western Kenya**. Nairobi: ICRAF, 1990. 338 p.

SEOBI, T.; ANDERSON, S.H.; UDAWATTA, R.P.; GANTZER, C.J. Influence of grass and agroforestry buffer strips on soil hydraulic properties for an Albaqualf. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 69, p. 893–901, 2005.

SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, Oxford, v. 52, p. 591-611, 1965.

SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S.C. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 1-10, 2008.

SILVA, D.C. da; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; OLIVEIRAS, A.H.; SOUZA, F.S. de; MARTINS, S.G.; MACEDO, R.L.G. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. **Revista de estudos ambientais**, Blumenau, v. 13, n. 1, p. 77-86, 2011.

SOUTHORN, N.J. The soil structure component of soil quality under alternate grazing management strategies. In: PAGLIAI, M.; JONES, R.J.A. (Ed). **Sustainable and management – environmental protection: a soil physical approach**. Reiskirchen: Catena Verlag, 2002. p. 71-82. (Advances in GeoEcology, 35).

STOOPS, G. **Guidelines for analysis and description of soil regolith thin sections**. Madison: Soil Science Society of America, 2003. 184 p. + 1 CD-ROM

Van GENUCHTEN, M. Th.; LEIJ, F.J.; YATES, S. R. **The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils**. ADA: Environmental Protection Agency, 1991. 85 p.

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

4 CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO EM TRÊS TIPOS DE COBERTURA VEGETAL NO MUNICÍPIO DE APIAÍ – SP: DESEMPENHO E SENSIBILIDADE DO MODELO HYDRUS 1D

Resumo

O presente estudo teve como objetivo avaliar o modelo Hydrus 1D a partir da comparação das umidades do solo medidos “in situ” por sensores WCR (Water Content Reflectometer), assim como sua capacidade preditora com relação a formação de runoff nos solos com altos valores de condutividade hidráulica em três coberturas vegetais distintas (Sistema orgânico de plantio de tomate, Sistemas Agroflorestais e Capoeira) no município de Apiaí – SP. Esta avaliação foi através da comparação dos dados de umidades obtidos por sensores instalados nos principais horizontes das trincheiras durante o período de 29 de janeiro de 2010 a 02 de fevereiro de 2011, associados aos dados de precipitação coletados na estação meteorológica automática instalada na área, com os dados simulados pelo modelo Hydrus 1D que utilizou como dados de entrada valores referentes a densidade do solo, curva de retenção e condutividade hidráulica dos horizontes estudados. Os resultados mostram que o modelo Hydrus não foi eficiente para a predição dos valores de umidade nos solos estudados, pois, no geral, apresentou valores simulados de umidade mais baixos para todos os horizontes das trincheiras nas três áreas quando comparados com os dados observados. Entretanto obteve bons resultados na predição dos volumes de runoff, que neste trabalho não foram medidos, mas observados no campo. Estes resultados confirmam a necessidade de mais estudos com relação a predição de movimentos da água em condições heterogêneas de culturas, visto que os dados de entrada, com relação a vegetação, são de difícil escolha, principalmente no sistema agroflorestal, por apresentar alta diversidade de espécies.

Palavras-chaves: Modelagem; Umidade do solo; Runoff

Abstract

The present study aimed to evaluate the Hydrus 1D model in comparison to the soil moisture measured "in situ" by WCR sensors (Water Content Reflectometer), as well as its predictive ability with respect to the formation of runoff in soils with high values of hydraulic conductivity under three vegetation covers (Organic system, Agroforestry (AFS) and “Capoeira”) in Apiaí - SP. This assessment was done by comparing the data obtained from the moisture sensors installed in the main horizons of the pits during the period of January, 29 of 2010 to February, 02 of 2011, associated with rainfall data collected at an automatic weather station installed in the area, with the data simulated by Hydrus 1D model which used as input values bulk density, soil water retention and hydraulic conductivity of the studied horizons. The results show that the Hydrus model was not effective for predicting the moisture values in the studied soils, because it presented lower simulated moisture values for all horizons of the pits in the three areas when compared with the observed data.

However, good results were obtained in predicting runoff volumes, which were not measured in this work, but observed in the field. These results confirm the need for further studies with respect to the prediction of water movement under conditions of heterogenous crops, since the input data, with respect to vegetation, are difficult to chose, especially in AFS, by the presence of high diversity of species.

Keywords: Modeling; Soil moisture; Runoff

4.1 Introdução

A crescente preocupação mundial com a sustentabilidade ambiental acarretou uma demanda dos agricultores por práticas sustentáveis de produção, seja por causas ambientais ou forçadas pelas imposições do mercado. Aliado a essa demanda, surgem estudos e ideias de produção agrícola aliada à preservação ambiental com a utilização de práticas de manejo menos agressivas que preservem a estrutura do solo, como o sistema de cultivo orgânico e os sistemas agroflorestais.

Os sistemas agroflorestais combinam plantas agrícolas, espécies arbóreas e arbustivas na mesma unidade de manejo ao mesmo tempo (NAIR, 1993; INTERNATIONAL CENTER FOR RESEARCH IN AGROFORESTRY, 1995; SILVA et al., 2011), diversificando o ecossistema e aumentando as interações benéficas que ocorrem entre as plantas dos diferentes ciclos, portes e funções (SANCHEZ, 1995; YOUNG, 1997). Outro método conservacionista é o manejo orgânico que, através de suas práticas e formas de manejo alternativas ao sistema convencional, objetiva a sustentabilidade econômica e ecológica revelando melhor desempenho em termos de qualidade do solo e água (RODRIGUES; CAMPANHOLA, 2003).

A dinâmica entre solo-floresta estudada pelo movimento de água no perfil do solo é importante, pois a disponibilidade de água no solo é um dos fatores de maior importância para o crescimento das plantas (GUEHL, 1984), e afeta direta e indiretamente o crescimento das raízes no solo (MARSHALL, 1959).

O solo pode ser entendido como um reservatório de água, cujo volume armazenado pode ser bastante variável ao longo do tempo, e depende de diversos fatores, tais como atributos do solo, fatores climáticos e de manejo do solo (REICHARDT, 2004). Considerando a existência de uma cobertura vegetal sobre o solo, a água da chuva é primeiramente interceptada pelo dossel ou, então, atinge diretamente a superfície do solo. Parte da água que atinge a superfície do solo é infiltrada e parte pode escoar superficialmente. Dependendo da direção do escoamento desta água, ela será contabilizada como entrada ou saída do sistema.

Perante as atividades dos agricultores, atualmente, é necessário estabelecer políticas que permitam minimizar os riscos inerentes ao uso da água. Tais políticas devem ser baseadas no entendimento das leis que regem o movimento da água na região saturada e insaturada no solo, assumindo-se a utilização de modelos matemáticos como uma ferramenta indispensável na previsão da qualidade da água dos aquíferos, na implementação de melhores práticas de irrigação e no uso racional dos corpos d'água (GONÇALVES et al., 2007).

Uma das aplicações dos modelos matemáticos é em estudos ambientais, visto que auxiliam no entendimento dos efeitos das mudanças no uso do solo, podendo prever alterações nos ecossistemas (HILLEL, 1998). Como os modelos matemáticos estão aliados a métodos numéricos, e dessa forma, permitindo melhor entendimento dos processos naturais que governam o transporte de água no solo, bem como previsão de eventos (SAGARDOY, 1993; WAGENET; HUTSON, 1994; van DAN et al., 1997).

Os estudos que predizem o transporte de água e solutos em meio não-saturado, em condições heterogêneas, e considerando culturas não são ainda satisfatórios (CORRÊA et al., 2006). Devido a isso, continuam os estudos que usam tanto a modelagem matemática, como a medição por equipamentos dos eventos naturais, para que algum dia se possa conhecer mais profundamente esse campo de pesquisa.

Nesse contexto o presente trabalho tem como objetivo:

- Avaliar o modelo Hydrus 1D a partir da comparação da umidade do solo obtidos através de medições “in situ” em três coberturas vegetais distintas no município de Apiaí – SP.
- Avaliar a capacidade preditora do modelo Hydrus 1D com relação a formação de runoff nos solos dos três tipos de cobertura vegetal com altos valores de condutividade hidráulica.

As hipóteses testadas no presente trabalho é a de que

- O modelo Hydrus 1D é capaz de reproduzir os resultados de umidade do solo obtidos no campo com sensores de umidade.
- O modelo Hydrus 1D é capaz de prever baixa produção de runoff para os três tipos de cobertura vegetal com altos valores de condutividade hidráulica.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Local de estudo

Os locais de estudo do Capítulo 3 foram utilizados para a realização da simulação dos fluxos de água no solo. As mesmas trincheiras abertas para a caracterização do funcionamento físico-hídrico e o monitoramento da umidade do solo foram utilizadas para a simulação dos fluxos de água pelo software Hydrus 1D.

O capítulo 3 serve como base de dados físico-hídricos para a obtenção dos parâmetros de entrada no modelo. Foram utilizados os dados referentes densidade do solo (Tabelas 9, 10 e 11, Capítulo 3), curva de retenção (Figuras 8, 9 e 10, Capítulo 3) e condutividade hidráulica saturada (Tabelas 12, 13 e 14, Capítulo 3).

4.2.2 Simulação com o modelo Hydrus 1D

A simulação dos fluxos de água no solo pelo modelo Hydrus 1D, para cada tipo de cobertura vegetal, é apresentada na Tabela 01. Essas profundidades são as profundidades dos principais horizontes amostrados e semelhantes a instalação dos sensores de umidade do capítulo 3.

Tabela 1 – Profundidade requerida de saída do Hydrus 1D para os fluxos de água

SAF	Tomate	Capoeira
----- m -----		
0,10	0,10	0,10
0,40	0,45	0,48
1,00	0,75	0,80
1,30	1,00	1,30
1,60		1,70
1,87		

Com todos os dados de entrada preparados, iniciou-se a simulação dos fluxos de água no solo com o modelo Hydrus 1D, versão 4.0 (SIMUNEK et al., 2005), com a seleção das condições de contorno. Como condição de contorno superior foi utilizada a pressão atmosférica que considera o runoff na superfície do solo e como condição de contorno inferior a drenagem livre (Figura 1).

Em um dos passos da simulação, foi escolhido para o modelo hidráulico, a metodologia de porosidade simples de van Genuchten - Mualem (van GENUCHTEN, 1980), sem considerar histerese (Figura 1). Para satisfazer esta metodologia, foi preciso realizar um novo ajuste dos valores das umidades das curvas de retenção de água no solo, as quais apresentaram comportamento bimodal e foram anteriormente ajustadas no software RETC (van GENUCHTEN et al., 1991) para o modelo bimodal de Durner (1994). Este procedimento foi realizado em função da não simulação (instabilidade numérica) dos dados com os parâmetros da curva bimodal.

Figura 1 – Tela de opção de processos e metodologia no hydrus 1-D

Os dados climáticos inseridos no modelo foram os mesmos coletados na microestação meteorológica instalada nas áreas.

4.3 Resultados e discussões

4.3.1 Simulação dos fluxos de água no solo

Após a simulação dos fluxos de água no solo, os dados das umidades do solo gerados pelo modelo foram utilizados para a confecção dos gráficos em função do tempo.

O horizonte A da área do SAF, responde a cada evento chuvoso com a variação da sua umidade ao longo do tempo (Figura 2). Este horizonte apresenta baixa retenção de água no solo (Figura 8, Capítulo 3), além de possuir alto valor de condutividade hidráulica (Tabela 12, Capítulo 3), fazendo com que 4a água que

chega pela chuva drene rapidamente chegando no horizonte Bi 1 localizado a 0,30 cm de profundidade. Assim como nos valores medidos da umidade no horizonte A, os valores simulados para o Bi 1 apresentam alta variação da umidade, devido à alta condutividade hidráulica que facilita a drenagem da água. Entretanto nota-se pelo gráfico da umidade que seus valores são um pouco maiores se comparados ao horizonte superficial, devido à mudança na inclinação da curva de retenção que proporciona maior característica de retenção de água neste horizonte.

O horizonte Bi 2 também apresenta variação da umidade ao longo do tempo, mas com menor intensidade. Essa variação é percebida alguns dias após o evento chuvoso, explicado pelo caminho que a água tem que fazer para chegar neste horizonte.

A partir do horizonte Bi 3, a umidade do solo não apresenta altas variação principalmente no início da simulação, indicando que o evento chuvoso não participa diretamente na variação da umidade. Estes horizontes perdem umidade no início da simulação em função dos baixos valores de chuva. A partir do mês de outubro, quando as chuvas começam a ser mais frequentes, a umidade aumenta, mas sem apresentar picos de umidade em curto período, devido às baixas condutividades hidráulicas.

Figura 2 – Simulação com o modelo Hydrus 1D para os dados do solo da trincheira na área do Sistema agroflorestal. O “?” no gráfico representa ausência de dados

A Figura 3 apresenta dois gráficos que mostram o volume de água que escoou pela superfície do solo (runoff) e um outro que mostra a infiltração acumulada no período estudado. Observando estes gráficos, notamos que o volume de runoff simulado durante cada evento chuvoso é baixo para a área do SAF, devido à sua alta infiltração acumulada de água no solo, assim como visualizado em campo, onde apesar de possuir altos índices pluviométricos (média mensal de 106 mm durante período estudado, sendo 210,65 mm a máxima no mês de dezembro), não se via durante o evento chuvoso água acumulada na superfície do solo ou escoando (observação de campo), devido aos altos valores de condutividade hidráulica dos horizontes superficiais. Além disso, os valores acumulados durante o período de simulação também são baixos, não apresentando risco a esta área de erosão pela enxurrada.

Figura 3 – Gráficos do volume de runoff diário, acumulado e da infiltração acumulada simulados pelo modelo Hydrus 1D para o solo na área do Sistema agroflorestal

Todos os horizontes na área do tomate apresentam variação da umidade em função direta de cada evento chuvoso (Figura 4). Este solo possui altos valores de condutividade hidráulica na superfície, valores intermediários nos horizontes Bi 1 e Bi 2 e valores baixos no último horizonte (Tabela 13, Capítulo 3). Este gradiente formado pela condutividade hidráulica confere ao solo velocidades diferentes para a saída da água, dividindo o solo em dois grupos. O primeiro grupo formado pelos horizontes A e Bi 1 apresentam menores valores de umidade do solo ao longo do tempo pela alta condutividade hidráulica e por não apresentarem, principalmente no A, alta retenção de água. O segundo grupo é formado pelos horizontes Bi 2 e BC que apresentam como característica maior retenção de água e baixas condutividades hidráulicas conferindo a eles maior umidade. Para os dois últimos horizontes nota-se um atraso de alguns dias na formação dos picos de umidade com relação aos outros horizontes, em função da diferença de valores de condutividade hidráulica e das características de maior ou menos retenção de água.

Figura 4 – Simulação com o modelo Hydrus 1D para os dados do solo da trincheira na área do Tomate. O “?” no gráfico representa ausência de dados

Para a área do Tomate, por ser uma área cultivada e apresentar propriedades físico-hídricas que favorecem a infiltração de água no solo, como por exemplo, alta condutividade hidráulica e baixas densidades, os valores de infiltração foram altos

como vemos no gráfico da infiltração acumulada (Figura 5). Em função desta alta infiltração de água no solo, os valores de runoff são baixos ao longo da simulação, consequentemente os valores acumulados mostram o baixo risco de erosão na área.

Figura 5 – Gráficos do volume de runoff diário, acumulado e da infiltração acumulada simulados pelo modelo Hydrus 1D para o solo na área do Tomate

Na área com capoeira, os horizontes A e Bi 1 apresentaram alta variação de umidade ao longo do tempo, porém, foram os que apresentaram os maiores valores de umidade durante a simulação (Figura 6). Este comportamento de apresentar maior umidade ao longo do tempo não era esperado em função das características encontradas nestes horizontes, de maior condutividade hidráulica e de menor retenção de água, principalmente no horizonte A, com relação aos outros.

A umidade no horizonte Bi 2 foi intermediária comparando entres eles, além disso este horizonte apresentou comportamento semelhante aos anteriormente citados, mas com valores de umidade menor.

Os horizontes mais profundos, não obtiveram alta variação ao longo do tempo, não apresentando muitos picos de umidade. Isto é devido a menor condutividade hidráulica nestes horizontes. O horizonte BC possui menor condutividade hidráulica e maior capacidade de retenção de água no solo, conferindo a ela maiores valores de umidade em relação ao horizonte C, como visto no gráfico.

Figura 6 – Simulação com o modelo Hydrus 1D para os dados do solo da trincheira na área do Capoeira. O “?” no gráfico representa ausência de dados

Na área da capoeira foram observados os maiores valores de runoff em relação as outras áreas (Figura 7), devido a menor condutividade hidráulica ao longo do perfil (Tabela 14, Capítulo 3). Entretanto os valores apresentados, tanto diariamente, assim como para o acumulado, não são valores altos que possam por em risco a área com relação a formação de enxurradas, devido a alta infiltração do solo simulada pelo modelo.

Figura 7 – Gráficos do volume de runoff diário, acumulado e da infiltração acumulada simulados pelo modelo Hydrus 1D para o solo na área da Capoeira

4.3.2 Comparações entre observado x simulado pelo modelo Hydrus 1D

Após realizar a simulação dos fluxos de água no solo com o modelo Hydrus 1D, os dados de umidade, para cada trincheira e suas respectivas profundidades, foram confrontados com os dados obtidos por sensores de umidade do modelo Water Content Reflectometer – WCR (modelo CS615-L, Campbell Scientific Inc.).

O horizonte A na área do SAF foi o que apresentou valores mais próximos para a umidade do solo ao longo do tempo entre o observado e o simulado (Figura 8). Estes se diferenciam pela intensidade que ocorrem os picos de umidade e pela amplitude de valores com relação ao eixo Y, onde os valores observados foram os que apresentaram maiores intensidades e amplitudes em relação aos valores simulados.

Para todos os outros horizontes estudados nesta área, os valores observados sempre foram maiores em relação aos simulados. Esse resultado pode ser efeito da condição de contorno imposta no início da simulação, onde a drenagem livre foi

adicionana como condição de limite inferior. Essa condição não representa o que ocorreu na área do Tomate, onde havia a presença de água em subsuperfície como foi visto na descrição do solo (Anexo O). Para estes dados observados, além desta diferença, também observamos quantidades menores de picos de umidade relacionados a cada evento chuvoso, principalmente para os horizontes mais próximos da superfície.

Estas diferenças podem ser explicadas pela dificuldade do uso da modelagem em sistemas agroflorestais, devido à sua maior complexidade e principalmente sobre a maior variabilidade espacial (MUETZELFELDT; SINCLAIR, 1993).

Figura 8 – Comparações entre os dados Observados e Simulados de umidade para cada horizonte da área Sistema agroflorestal.

O “?” no gráfico representa ausência de dados

No horizonte A da área do tomate, os valores observados de umidade do solo apresentam pequenas variações ao longo do tempo na presença de chuvas maiores que 10 mm, diferentemente dos dados de umidade simulada, que apresentaram altas variações em função dos eventos chuvosos de qualquer volume (Figura 9). Este mesmo comportamento foi observado em Bi 1, onde os valores de umidade simulada apresentam maior variação ao longo do tempo em relação ao observado.

Os valores de umidade observada para os dois horizontes mais profundos são semelhantes entre si e apresentam pouca variação ao longo do tempo. Em contrapartida seus respectivos valores de umidade simulada apresentam variação de umidade durante o período estudado, sendo que esta diferença é maior no período mais seco e a medida que as chuvas começam a ficar mais frequentes as umidades de ambos ficam mais próximas.

Para todos os horizontes deste solo, os valores de umidade simulada, destacaram melhor os períodos mais secos com relação aos observados e se aproximam dos valores observados à medida que o solo fica mais úmido.

Figura 9 – Comparações entre os dados Observados e Simulados de umidade para cada horizonte da área Tomate. O “?” no gráfico representa ausência de dados

A umidade simulada pelo modelo apresentou maiores valores de umidade volumétrica em relação ao observado no horizonte A da área da capoeira (Figura 10). Somado a isso, também a umidade possui maiores flutuações ao longo do tempo sendo diretamente influenciado pelos eventos chuvosos.

A partir do horizonte Bi 1 (Topo) há uma inversão nos valores da umidade, os observados passam a apresentar as maiores umidades no perfil ao longo do tempo. Sendo assim, o horizonte Bi (Base) também possui valores de umidade observados maiores do que o simulado, e também apresentam maior flutuação ao longo do tempo, além disso, foi mais sensível a variação das chuvas, diferente do simulado que detectou apenas chuvas maiores de, aproximadamente, 8 – 10 mm.

Em profundidade, os horizontes BC e C apresentam valores maiores de umidade do solo em relação aos simulados, esta diferença também foi observada nos horizontes mais profundos da área do SAF.

Figura 10 – Comparações entre os dados Observados e Simulados de umidade para cada horizonte da área Capoeira. O “?” no gráfico representa ausência de dados

Em geral, os valores simulados de umidade do solo foram baixos para todos os horizontes das trincheiras nas três áreas. Mesmo assim, comparando com os gráficos da curva de retenção (Figuras 8, 9 e 10, Capítulo 3), a maioria das umidades simuladas atingiram valores próximos ou acima da capacidade de campo (10 kPa), indicando que o solo apesar de apresentar condições mais secas na simulação, ainda possui alta disponibilidade de água, não sendo impedimento para a implantação de culturas neste local. Entretanto, para a maioria dos horizontes, principalmente em profundidade, as diferenças encontradas entre os valores observados e os simulados são altas. Estas diferenças poderiam ser explicadas pelo fato da escolha do modelo hidráulico baseado na metodologia de porosidade simples de van Genuchten – Mualem não ter representado corretamente as condições físico-hídricas do solo, subestimando os valores de umidade. Além disso, as condições de contorno impostas ao modelo, também podem ter influenciado nesta diferença, visto que algumas delas não representaram a realidade no local, mas foram impostas para que o modelo pudesse simular, visto que com as condições reais o modelo não simulava, não sendo possível obter resultados.

Outro fator que poderia explicar as diferenças encontradas é a quantidade de dados avaliados, que foram 314 dias, que podem não ter sido suficiente para que o modelo ajustasse as reais condições de umidade do solo inicialmente, visto que para alguns horizontes as umidades do solo ao longo do tempo aproximaram-se uma das outras.

Com relação às flutuações encontradas no eixo Y (umidade), os valores das umidades simuladas apresentaram altas flutuações ao longo do tempo, devido talvez à forma de entrada dos dados de chuva no modelo, que são diários. Entretanto os valores medidos pelas estações são a cada 1 hora e para utilizar estes dados na simulação, foram transformados (somados) os valores de precipitação das 24 horas em um único valor, perdendo a mudança gradual da umidade do solo no tempo e considerando apenas um único valor para o dia.

Os estudos que predizem o transporte de água e solutos em meio não-saturados, em condições heterogêneas e considerando culturas, não são ainda satisfatórios (CORRÊA et al., 2006). Os modelos que são baseados na física, não são capazes de descrever exatamente os processos hidrológicos que acontecem em condições naturais, e ainda, realizar comparações entre os resultados observados e previstos podem conter resultados duvidosos a partir de um grande número de

parâmetros estimados e também a variabilidade nos sistemas naturais (HAAN et al., 1995). Além disso, apesar do aumento do desenvolvimento de modelos numéricos, a informação sobre o movimento da água líquida, vapor d'água e calor sob condições de campo é ainda limitado, especialmente sob solos aráveis (DEB et al., 2010). Mas é preciso que se continuem os estudos que usam tanto a modelagem matemática, como a medição por equipamentos dos eventos naturais, para que algum dia se possa conhecer mais profundamente esse campo de pesquisa e possamos aprimorar os modelos.

4.4 Conclusões

1 – Comparando com os valores de umidade do solo observados, o modelo Hydrus 1D não foi eficiente para a predição dos valores de umidade nos solos estudados.

2 – O modelo Hydrus 1D obteve bons resultados na predição dos volumes de runoff, que neste trabalho não foram medidos, mas observados no campo.

3 – Os dados de entrada do sistema agroflorestal com relação a vegetação (Índice de área foliar e profundidade de raízes), são de difícil escolha, pois estes sistemas apresentam alta diversidade de espécies.

Referências

- CORRÊA, M.M.; MARTINEZ, M.A.; COSTA, L.C.; RUIZ, H.A.; CORRÊA, M.M.; SAMPAIO, S.C. Modelo numérico do transporte de água e soluto no solo: I - simulação da distribuição de umidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 17-23, jan./mar. 2006.
- DEB, S.K.; SHUKLA, M.K.; SHARMA, P. Numerical analysis of coupled liquid water, water vapor, and heat transport in a sandy loam soil. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 19., 2010, Brisbane. **Soil solutions for a changing world: proceedings...** Brisbane: International Union of Soil Science, 2010. p. 121-124.
- GONÇALVES, M.C.; RAMOS, T.B.; ŠIMUNEK, J.; NEVES, M.J.; MARTINS, J.C.; PIRES, F.P.; LEITÃO, P. Modelação da dinâmica da água e dos sais num Aluvissolo regado com águas de diferente qualidade: ensaio de validação do modelo HYDRUS-1D com observações em monólitos. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 30, n. 2, p. 38-52, jul. 2007.
- GUEHL, J.M. Dynamique de l'eau dans le sol em forêt tropicale humide guyanaise. Influence de la couverture pédologique. **Annales des Sciences Forestieres**, Nancy, v. 41, n. 2, p. 195-236, 1984.

HAAN, C.T.; ALLRED, B.; STORM, D.E.; SABBAGH, G.J.; PRABHU, S. Statistical procedure for evaluating hydrologic/water quality models. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St Joseph, v. 38, n. 3, p. 725-733, 1995.

HILLEL, D. Soil dynamics: stress, strain and strength. In: HILLEL, D. (Ed.). **Environmental soil physics**. New York: Academic Press, 1998. p. 341-382.

INTERNATIONAL CENTER FOR RESEARCH IN AGROFORESTRY. **Agroforestry at the service of farmers and the environment**: annual. Nairobi, 1995. 239 p.
MARSHALL, T.J. **Relations between water and soil**. Farnham Royal: CAB International, 1959. 91 p. (Technical Communication, 50).

MUETZELFELDT, R.I.; SINCLAIR, F.L. Ecological modelling of agroforestry systems. **Agroforestry Abstracts**, Wallingford, v. 6, p. 207-247, 1993.

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

REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S. **Encyclopedia of soils and the environment**. Amsterdam: Elsevier, 2004. v. 1, ??? p.

RODRIGUES, G.S.; CAMPANHOLA, C. Sistema integrado de avaliação de impacto ambiental aplicado a atividades do Novo Rural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 445-451, 2003.

SAGARDOY, J.A. Una visión global de la contaminación del agua por la agricultura. In: FAO. **Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines**. Santiago, 1993. p.19-26.

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

SILVA, D.C. da; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; OLIVEIRAS, A.H.; SOUZA, F.S. de; MARTINS, S.G.; MACEDO, R.L.G. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. **Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, v. 13, n. 1, p. 77-86, 2011.

SIMUNEK, M.; VAN GENUCHTEN, M.T.; SEJNA, M. **The Hydrus 1-D software package manual**: v. 3.0. Riverside: U.S. Salinity Laboratory, 2005. 240 p.

van DAM, J.C.; HUYGEN, J.; WESSELING, J.G.; FEDDES, R. A.; KABAT, P.; van WALSUM, P. E. V.; GROENENDIJK, P.; van DIEPEN, C. A. **Theory of SWAP version 2.0**: report 71. Wageningen: Wageningen Agricultural University, 1997. 167 p. (Technical Document, 45).

van GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

van GENUCHTEN, M.Th.; LEIJ, F.J.; YATES, S.R. **The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils**. Riverside: Salinity Laboratory, 1991. 85 p.

WAGENET, R.J.; HUTSON, J.L. Computer simulation models as an aid in estimating the probability of pesticide leaching, In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER IN AGRICULTURE, 5., 1994, Orlando. **Proceedings...** Orlando: ASAE, 1994. p. 786-794.

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

5 CONCLUSÕES GERAIS

A evolução dos atributos físico-hídricos do solo dos sistemas de manejo estudados não apresentou os resultados esperados pelas hipóteses lançadas no início do estudo, onde se esperava que nos sistemas agroecológicos (Sistemas agroflorestais e orgânicos de cultivo) obtivessem os melhores resultados ao longo do tempo. Entretanto, deve ser considerada a necessidade de mais tempo de estudos nestes sistemas, para evidenciar as vantagens dos seus manejos nos atributos físico hídricos do solo, devido a serem sistemas recentemente implantados. Mesmo assim, em geral, apresentaram altos teores de matéria orgânica nas coletas analisadas, que lhes conferiu baixos valores de densidade do solo e partículas, resultando consequentemente alta porosidade calculada. Esta porosidade é composta principalmente por poros do tipo complexos de tamanho grande, que atribuem ao solo altas condutividades hidráulicas.

Para o sistema convencional 1, apesar dos tratos culturais e todo o manejo na área serem realizados por máquinas, não houve impedimentos físicos e hídricos, assim como a degradação do solo.

Podemos tomar como exceção as duas áreas de pastagem (ORG 3 e CON 2) que, mesmo apresentando bons atributos físico-hídricos, apresentaram ligeiro decréscimo nos seus valores de porosidade do solo ao longo do tempo, em função do pisoteio animal na área e pela falta de tratos culturais na pastagem.

Portanto, todos sistemas de manejo apresentam atributos físicos e hídricos com boas condições para o cultivo durante o período de estudo, e não apresentam nenhum impedimento com relação ao solo manter estes sistemas na região. Mas devemos sempre lembrar que toda atividade agrícola deve respeitar as leis de uso e conservação do solo e também as leis ambientais com relação à preservação das áreas de preservação permanente e as áreas de reserva legal. Uma vez que o solo apresentou boas condições para o cultivo, outros aspectos, como por exemplo o ambiental/ecológico, que aqui neste trabalho não foram estudados devem ser considerados para qualquer tomada de decisão.

Os atributos físicos-hídricos do solo explicam os resultados da dinâmica da água no solo dos três tipos de cobertura vegetal (Agricultura orgânica, Sistemas Agroflorestais e Capoeira). Nas três trincheiras estudadas, a densidade dos solos nos horizontes mais superficiais foi menor em função dos altos valores de matéria

orgânica encontrados e conferem-lhes altos valores de porosidade calculada. Essa porosidade é formada por maior porcentagem de poros complexos grandes, que lhes conferem altos valores de condutividades hidráulica, que são determinantes no funcionamento físico hídrico do solo. Foi encontrado nas curvas de retenção desses solos, comportamento bimodal, que é atribuído à existência de duas regiões distintas com propriedades hidráulicas contrastantes. Esse comportamento favorece ao solo boa condutividade hidráulica e também boa retenção de água no solo.

Para todos os tipos de cobertura vegetal, foi verificado que não existem períodos de escassez de água ao longo do tempo, atribuídos aos altos índices pluviiais e sua distribuição regular, assim como pelos atributos do solo que oferecem em profundidade altos valores de umidade do solo. Essa umidade do solo, foi influenciada pelo manejo do solo, como visto dentro do sistema SAF, onde na área com a presença de árvores, a umidade do solo foi maior em relação aos plantios de mandioca e mato, indicando que as árvores oferecem uma maior proteção a umidade do solo com relação às perdas por evaporação de água no solo.

A modelagem dos dados obtidos na caracterização dos três tipos de cobertura vegetal (Agricultura orgânica, Sistemas Agroflorestais e Capoeira), mostrou que o modelo Hydrus 1D não foi eficiente para a predição dos valores de umidade nos solos estudados, quando comparados com a umidade do solo medida pelos sensores de umidade instalados nas áreas. Em geral, os valores simulados de umidade do solo foram baixos para todos os horizontes das trincheiras nas três áreas com relação aos observados. Um dos fatores para a baixa qualidade da predição do modelo sobre as umidades do solo foi a escolha do modelo hidráulico baseado na metodologia de porosidade simples de van Genuchten – Mualem para as curvas com comportamento bimodal, não representando corretamente as condições físico-hídricas do solo, subestimando os valores de umidade e além disso, as condições de contorno que não representaram a realidade, mas permitiu que fosse possível simular essas áreas de estudo. Mesmo assim, estes valores quando comparados com a curva de retenção, indicam que existe alta disponibilidade de água no solo.

Apesar de não obter resultados bons para a umidade dos solos, o modelo Hydrus 1D, obteve resultado satisfatório com relação aos valores simulados de runoff e de infiltração de água, mostrando que nestes solos estudados por apresentarem altos valores de condutividade hidráulica a infiltração de água no solo

foi alta também, reduzindo os valores de runoff a patamares que não oferecem risco de erosão as áreas estudadas pela enxurrada.

Estes resultados controversos com relação à umidade do solo, confirmam a necessidade de mais estudos com relação à predição de movimento da água em condições heterogêneas de culturas, visto que alguns modelos não são capazes de descrever exatamente os processos hidrológicos em condições naturais e sob condições de campo, devido as grandes quantidades de variáveis que estes sistemas apresentam e à alta diversidade de espécies, tornando difícil a escolha dos parâmetros. Mas é preciso que se continuem os estudos que usam tanto a modelagem matemática, como a medição por equipamentos dos eventos naturais, para que algum dia possa conhecer mais profundamente esse campo de pesquisa e possamos aprimorar os modelos.

ANEXOS

Anexo A - Valores médios de densidade de partículas para cada profundidade e coleta dos sistemas agroflorestais e convencionais de cultivo

Coleta	Profundidade	SAF's			Convencionais	
		SAF 1	SAF 2	SAF 3	CON 1	CON 2
		Densidade de Partículas				
	----- m -----	----- Mg m ⁻³ -----				
1	0,00 – 0,05	2,60	2,49	2,48	2,62	2,71
	0,10 – 0,15	...	2,55	2,61	2,58	2,78
2	0,00 – 0,05	2,55	2,43	2,49	2,65	2,74
	0,10 – 0,15	2,63	2,42	2,60	2,68	2,64
3	0,00 – 0,05	2,54	2,47	2,47	2,63	2,72
	0,10 – 0,15	2,49	2,44	2,47	2,62	2,73
4	0,00 – 0,05	2,49	2,46	2,46	2,63	2,65
	0,10 – 0,15	2,55	2,51	2,48	2,63	2,63
5	0,00 – 0,05	2,47	2,40	2,42	2,61	...
	0,10 – 0,15	2,48	2,42	2,44	2,61	...

Anexo B - Valores médios de densidade de partículas para cada profundidade e coleta do sistema orgânico de cultivo

Coleta	Profundidade	Orgânicos					
		ORG 1	ORG 2	ORG 3	ORG 4	ORG 5	ORG 6
		Densidade de Partículas					
	----- m -----	----- Mg m ⁻³ -----					
1	0,00 – 0,05	2,53	2,50	2,53	2,51	2,51	2,53
	0,10 – 0,15	2,60	2,60	2,60	2,55	2,58	2,52
2	0,00 – 0,05	2,52	2,50	2,52	2,54	2,57	2,52
	0,10 – 0,15	2,54	2,58	2,53	2,56	2,58	2,56
3	0,00 – 0,05	2,51	2,52	2,52	2,55	2,58	2,51
	0,10 – 0,15	2,53	2,52	2,51	2,50	2,58	2,54
4	0,00 – 0,05	2,50	2,52	2,50	2,51	2,55	...
	0,10 – 0,15	2,53	2,58	2,50	2,52	2,56	...
5	0,00 – 0,05	2,46	2,49	2,50	2,47	...	...
	0,10 – 0,15	2,53	2,53	2,51	2,53	...	...

Anexo C – Valores das médias da condutividade hidráulica na área Sistema agroflorestal 1

Potencial	Coleta									
	1		2		3		4		5	
--- cm ---	----- m s ⁻¹ -----									
0,0	2,5 x 10 ⁻⁴	A a	3,7 x 10 ⁻⁵	A a	4,0 x 10 ⁻⁴	A a	1,6 x 10 ⁻⁵	A a	1,1 x 10 ⁻⁵	A a
-2,0	3,9 x 10 ⁻⁵	A a	2,0 x 10 ⁻⁵	A a	4,2 x 10 ⁻⁵	AB a	6,8 x 10 ⁻⁶	A a	1,1 x 10 ⁻⁵	A a
-4,5	5,0 x 10 ⁻⁶	A a	1,4 x 10 ⁻⁵	A a	3,0 x 10 ⁻⁶	B a	2,9 x 10 ⁻⁶	A a	2,2 x 10 ⁻⁶	A a
-6,5	2,5 x 10 ⁻⁶	A a	9,9 x 10 ⁻⁶	A a	1,3 x 10 ⁻⁶	B a	1,0 x 10 ⁻⁶	A a	1,0 x 10 ⁻⁶	A a

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto a profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto a coleta na mesma profundidade.

Anexo D – Valores das médias da condutividade hidráulica na área Sistema agroflorestal 2

Potencial	Coleta									
	1		2		3		4		5	
--- cm ---	----- m s ⁻¹ -----									
0,0	3,6 x 10 ⁻⁵	A a	8,9 x 10 ⁻⁵	A a	9,2 x 10 ⁻⁵	A a	2,3 x 10 ⁻⁵	A a	2,5 x 10 ⁻⁵	A a
-2,0	3,2 x 10 ⁻⁵	A a	2,7 x 10 ⁻⁵	A a	3,5 x 10 ⁻⁵	B a	1,2 x 10 ⁻⁵	AB a	1,3 x 10 ⁻⁵	A a
-4,5	2,9 x 10 ⁻⁵	A a	9,9 x 10 ⁻⁶	A a	1,0 x 10 ⁻⁵	B a	5,8 x 10 ⁻⁶	AB a	8,4 x 10 ⁻⁶	A a
-6,5	1,3 x 10 ⁻⁵	A a	5,3 x 10 ⁻⁶	A a	5,1 x 10 ⁻⁶	B a	3,1 x 10 ⁻⁶	B a	6,2 x 10 ⁻⁶	A a

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto a profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto a coleta na mesma profundidade.

Anexo E – Valores das médias da condutividade hidráulica na área Sistema agroflorestal 3

Potencial	Coleta									
	1		2		3		4		5	
--- cm ---	----- m s ⁻¹ -----									
0,0	2,4 x 10 ⁻⁵	A b	2,8 x 10 ⁻⁵	A ab	1,8 x 10 ⁻⁴	A a	2,5 x 10 ⁻⁵	A b	4,6 x 10 ⁻⁵	A ab
-2,0	3,2 x 10 ⁻⁵	AB ab	2,7 x 10 ⁻⁵	AB ab	3,5 x 10 ⁻⁵	AB a	1,2 x 10 ⁻⁵	A b	1,3 x 10 ⁻⁵	AB ab
-4,5	2,7 x 10 ⁻⁵	B b	9,9 x 10 ⁻⁶	B b	1,0 x 10 ⁻⁵	B b	5,8 x 10 ⁻⁶	A B	8,4 x 10 ⁻⁶	B a
-6,5	1,3 x 10 ⁻⁵	B b	5,3 x 10 ⁻⁶	B ab	5,1 x 10 ⁻⁶	B ab	3,1 x 10 ⁻⁶	A b	6,2 x 10 ⁻⁶	B a

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto a profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto a coleta na mesma profundidade.

Anexo F – Valores das médias da condutividade hidráulica na área Convencional 1

Potencial	Coleta									
	1		2		3		4		5	
--- cm ---	----- m s ⁻¹ -----									
0,0	3,4 x 10 ⁻⁵	A a	1,0 x 10 ⁻⁴	A a	5,5 x 10 ⁻⁵	A a	1,8 x 10 ⁻⁴	A a	4,3 x 10 ⁻⁵	A a
-2,0	9,6 x 10 ⁻⁶	B b	2,9 x 10 ⁻⁵	B a	1,5 x 10 ⁻⁵	A a	5,3 x 10 ⁻⁵	A A	1,8 x 10 ⁻⁵	AB a
-4,5	2,1 x 10 ⁻⁶	A a	8,5 x 10 ⁻⁶	B ab	3,6 x 10 ⁻⁶	A ab	1,3 x 10 ⁻⁵	A a	6,2 x 10 ⁻⁶	B ab
-6,5	1,0 x 10 ⁻⁶	B b	3,7 x 10 ⁻⁶	B ab	1,3 x 10 ⁻⁶	A b	7,3 x 10 ⁻⁶	A a	2,9 x 10 ⁻⁶	B ab

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto a profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto a coleta na mesma profundidade.

Anexo G – Valores das médias da condutividade hidráulica na área Convencional 2

Potencial	Coleta							
	1		2		3		4	
--- cm ---	----- m s ⁻¹ -----							
0,0	2,5 x 10 ⁻⁴	A a	7,3 x 10 ⁻⁵	A b	7,9 x 10 ⁻⁶	A b	6,8 x 10 ⁻⁵	A b
-2,0	5,6 x 10 ⁻⁵	B a	1,8 x 10 ⁻⁵	B b	4,2 x 10 ⁻⁶	A b	2,1 x 10 ⁻⁵	B b
-4,5	1,0 x 10 ⁻⁵	B a	6,5 x 10 ⁻⁶	C ab	2,2 x 10 ⁻⁶	A b	6,1 x 10 ⁻⁶	C ab
-6,5	5,1 x 10 ⁻⁶	B a	...		...		3,3 x 10 ⁻⁶	C a

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto a profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto a coleta na mesma profundidade.

Anexo H – Valores das médias da condutividade hidráulica na área Orgânico 1

Potencial	Coleta									
	1		2		3		4		5	
--- cm ---	----- m s ⁻¹ -----									
0,0	7,2 x 10 ⁻⁶	A a	4,6X10 ⁻⁵	A a	4,9X10 ⁻⁵	A a	2,4X10 ⁻⁵	A a	2,4X10 ⁻⁵	A a
-2,0	6,8 x 10 ⁻⁶	A a	2,1X10 ⁻⁵	AB a	1,8X10 ⁻⁵	B a	1,3X10 ⁻⁵	A a	8,4X10 ⁻⁶	A a
-4,5	6,6X10 ⁻⁶	A a	8,6X10 ⁻⁶	B a	5,9X10 ⁻⁶	BC a	6,0X10 ⁻⁶	A a	2,5X10 ⁻⁶	A a
-6,5	4,3X10 ⁻⁶	A a	5,4X10 ⁻⁶	B a	2,7X10 ⁻⁶	C a	3,7X10 ⁻⁶	A a	1,2X10 ⁻⁶	A a

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto a profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto a coleta na mesma profundidade.

Anexo I – Valores das médias da condutividade hidráulica na área Orgânico 2

Potencial	Coleta									
	1		2		3		4		5	
--- cm ---	----- m s ⁻¹ -----									
0,0	9,2X10 ⁻⁵	A a	1,5X10 ⁻⁴	A a	2,0X10 ⁻⁴	A a	1,5X10 ⁻⁵	A a	5,1X10 ⁻⁵	A a
-2,0	3,5X10 ⁻⁵	A a	5,1X10 ⁻⁵	A a	5,0X10 ⁻⁵	A a	1,1X10 ⁻⁵	A a	1,9X10 ⁻⁵	A a
-4,5	1,1X10 ⁻⁵	A a	2,3X10 ⁻⁵	A a	9,5X10 ⁻⁶	A a	7,6X10 ⁻⁶	A a	7,1X10 ⁻⁶	A a
-6,5	6,6X10 ⁻⁶	A a	6,8X10 ⁻⁶	A a	2,7X10 ⁻⁶	A a	5,3X10 ⁻⁶	A a	3,0X10 ⁻⁶	A a

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto a profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto a coleta na mesma profundidade.

Anexo J – Valores das médias da condutividade hidráulica na área Orgânico 3

Potencial	Coleta									
	1		2		3		4		5	
--- cm ---	----- m s ⁻¹ -----									
0,0	1,1X10 ⁻⁴	A a	1,2X10 ⁻⁴	A a	1,2X10 ⁻⁴	A a	2,0X10 ⁻⁵	A a	5,9X10 ⁻⁵	A a
-2,0	8,7X10 ⁻⁵	AB a	1,2X10 ⁻⁵	A b	2,0X10 ⁻⁵	A b	4,4X10 ⁻⁶	A b	1,2X10 ⁻⁵	A b
-4,5	1,9X10 ⁻⁵	BC a	1,6X10 ⁻⁶	A b	7,3X10 ⁻⁶	A ab	2,2X10 ⁻⁶	A b	1,9X10 ⁻⁶	A b
-6,5	9,8X10 ⁻⁶	C a	9,6X10 ⁻⁷	A b	1,4X10 ⁻⁶	A b	1,6X10 ⁻⁶	A b	1,0X10 ⁻⁶	A b

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto a profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto a coleta na mesma profundidade.

Anexo K – Valores das médias da condutividade hidráulica na área Orgânico 4

Potencial	Coleta									
	1		2		3		4		5	
--- cm ---	m s ⁻¹									
0,0	3,6X10 ⁻⁴	A a	3,6X10 ⁻⁵	A b	1,8X10 ⁻⁴	A ab	1,7X10 ⁻⁵	A b	1,9X10 ⁻⁵	A b
-2,0	1,2X10 ⁻⁴	B a	2,2X10 ⁻⁵	AB b	4,4X10 ⁻⁵	A b	1,2X10 ⁻⁵	A b	1,1X10 ⁻⁵	AB b
-4,5	3,0X10 ⁻⁵	C a	1,4X10 ⁻⁵	B b	8,1X10 ⁻⁶	A b	7,2X10 ⁻⁶	A b	5,3X10 ⁻⁶	B b
-6,5	1,7X10 ⁻⁵	C a	1,1X10 ⁻⁵	B b	2,6X10 ⁻⁶	A c	4,6X10 ⁻⁶	A c	2,6X10 ⁻⁶	B c

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto a profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto a coleta na mesma profundidade.

Anexo L – Valores das médias da condutividade hidráulica na área Orgânico 5

Potencial	Coleta							
	1		2		3		4	
--- cm ---	m s ⁻¹							
0,0	1,1X10 ⁻⁴	A a	1,1X10 ⁻⁴	A a	2,4X10 ⁻⁵	A a	1,0X10 ⁻⁴	A a
-2,0	3,2X10 ⁻⁵	A a	3,0X10 ⁻⁵	A a	9,6X10 ⁻⁶	A a	2,3X10 ⁻⁵	A a
-4,5	7,3X10 ⁻⁶	A ab	1,1X10 ⁻⁵	A a	3,4X10 ⁻⁶	A b	3,5X10 ⁻⁶	A b
-6,5	4,1X10 ⁻⁶	A a	1,4X10 ⁻⁶	A b	1,3X10 ⁻⁶	A b	1,2X10 ⁻⁶	A b

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto a profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto a coleta na mesma profundidade.

Anexo M – Valores das médias da condutividade hidráulica na área Orgânico 6

Potencial	Coleta					
	1		2		3	
--- cm ---	----- m s ⁻¹ -----					
0,0	2,0X10 ⁻⁴	A a	1,6X10 ⁻⁵	A a	2,3X10 ⁻⁵	A a
-2,0	5,0X10 ⁻⁵	AB a	8,0X10 ⁻⁶	AB b	1,1X10 ⁻⁵	AB b
-4,5	1,3X10 ⁻⁵	B a	3,7X10 ⁻⁶	B a	4,7X10 ⁻⁶	B a
-6,5	2,4X10 ⁻⁶	B a	2,1X10 ⁻⁶	B a	3,1X10 ⁻⁶	B a

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto a profundidade na mesma coleta.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, quanto a coleta na mesma profundidade.

Anexo N - Descrição da trincheira no Sistema agroflorestal

Cambissolo Háptico Alumínico típico

Horizonte Ap (0,00 – 0,12 m) → 10YR 2/2. Textura média, com material grosso de tamanho médio. Estrutura granular, moderada, média a pequena (blocos se desfazem em granular); estrutura se desfaz entre as faces dos agregados. Ligeiramente pegajoso, plástico; transição clara. Presença de raízes centimétricas no topo de AB e raízes finas e médias abundantes que se desmancham entre os grânulos.

Horizonte AB (0,12 – 0,19 m) → 10YR 4/4. Presença de mosqueados escuros da mesma matiz do anterior; textura argilosa com presença de material grosseiro de tamanho médio a grande e milimétricos. Estrutura em blocos angulares, moderados, de tamanho médio que se desfazem nas faces dos agregados; poucos microporos tubulares; ligeiramente pegajoso e plástico; transição clara. Presença abundante de raízes finas a médias.

Horizonte Bi (0,19 – 0,72 m) → 10YR 5/8. Textura argilosa com material grosseiro de tamanho médio; estrutura em blocos angulares, com alguns prismas que se desfazem em blocos; grau de estrutura moderado; tamanho médio; porosidade desenvolvida entre as faces dos agregados; pegajoso e plástico; transição clara/abrupta. Presença de raízes crescendo nas faces dos agregados, médias a abundantes, finas e médias.

Horizonte Bi2 (soterrado) (0,72 – 1,08 m) → 10YR 3/6. Textura argilosa com presença de material grosseiro (um pouco mais de argila que a anterior; 30%); estrutura em blocos angulares que se desfazem em granulares; porosidade entre as faces dos grânulos; plástico e pegajoso; transição clara. Presença de raízes médias a abundantes que se desenvolvem entre os grânulos.

Horizonte Bi3 (1,08 – 1,55 m) → 10YR 5/8. Textura argilosa com material grosseiro; estrutura em blocos angulares médios e moderados, alguns prismáticos, que se desfazem em blocos angulares; porosidade relacionada à face dos agregados; alguns poros tubulares; pegajoso e plástico; transição clara ondulada. Presença de raízes médias a poucas, finas/médias, que se desenvolvem entre as faces dos agregados.

Horizonte BC (1,55 – 1,92 m) → Presença de duas cores na matriz: uma mais esbranquiçada (10YR 7/2; 55%) e outra mais alaranjada (10YR 5/8; 45%); textura

argilosa com presença de material grosso de tamanho médio a grande; estrutura em blocos angulares médios e moderados, alguns prismáticos que se desfazem em blocos; presença de poucos poros pedotubulares; pegajoso e plástico; transição clara a ondulada. Presença de poucas raízes, finas a médias, que se desenvolvem nas faces dos agregados, o que lhe confere a porosidade.

Horizonte C (1,92+ m) → 10YR 6/8; mosqueados esbranquiçados (10YR 7/2; 45%), alaranjados (7,5YR 5/8; 55%); textura argilosa, estrutura em blocos angulares, moderados, médios a pequenos, com alguns prismáticos, que se desfazem em blocos; porosidade entre o contato das faces dos agregados; presença de nódulos de ferro; pegajoso e plástico. Presença de poucas raízes de tamanho fino que se desenvolvem entre as faces dos agregados.

Anexo O - Descrição da trincheira no Tomate

Cambissolo Háptico Alumínico típico

Horizonte A (0,00 – 0,18 m) → 10YR 3/1. Textura argilosa com presença de bastante areia grossa; estrutura granular médio pequena bem desenvolvida de grau forte; presença de blocos mas firmes, pequenos, cor mais acinzentado; boa porosidade intragranular;; consistência friável, não pegajosa e ligeiramente plástica; transição abrupta. Presença de raízes finas.

Horizonte BA (0,18 – 0,22 m) → presença de mosqueados avermelhados (7,5YR 5/6) e matiz acinzentada-amarelada (10YR 4/1 e 10YR 5/4); mosqueados vermelhos aparecem em conjunto com antigos e atuais canais de raízes; textura argilosa com presença de areia grossa e média; transição clara; estrutura em blocos pequeno-médios, angulares; grau moderado a forte; presença de agregados prismáticos que se desfazem em blocos menores; porosidade tubular bastante desenvolvida; porosidade entre contatos dos agregados bem desenvolvida; pegajosa plástica. Presença de raízes paralelas à superfície do solo. No contato entre A e BA, somente raízes finas conseguem atravessar.

Horizonte Bi 1 (0,22 – 0,66 m) → 10 YR 6/4. Textura média, acréscimo de argila mais pesada; presença de grandes grãos de quartzo e areia grossa e média; estrutura em blocos angulares médios em grau moderado a forte, agregados prismáticos médios que se desfazem em blocos; firme; plástico e pegajoso; transição clara. Presença moderada a pouca de raízes médias ou pequenas, que se concentram nas paredes dos agregados; áreas mais escuras são pedotúbulos com material mais escuro.

Horizonte Bi 2 (0,66 – 0,85 m) → 10YR 5/4, com presença de mosqueados pequenos. Textura argilosa com acréscimo de argila e menos areia grossa; presença de quartzo milimétrico; estrutura em blocos angulares médios ou pequenos; grau forte quando seco e moderado quando úmido; agregados prismáticos médios ou pequenos a se desfazerem em blocos (subestrutura granular média); porosidade estrutural entre os agregados e alguns poros tubulares que atravessam os agregados (provavelmente raízes); plástico e pegajoso; transição clara. Presença de poucas raízes finas e pedotúbulos menores preenchidos.

Horizonte BC (0,85 – 1,10 m) → cinza (2,YR 8/0); amarelo (10YR 7/6); mosqueados bruno alaranjados (7,5YR 6/8); mosqueados ocupam 30% da

superfície dos agregados. Textura argilosa, presença de quartzo milimétrico; estrutura em blocos angulares médios, material bastante misturado: brunos, brunos amarelados com zonas cinza claro com mosqueados bem definidos; estrutura prismática média a pequena; material denso; pegajoso, muito plástico. Presença de poucas raízes finas, somente na parte superior do horizonte.

1,10 m: nível da água

De 0,80 a 0,90 m: quartzo centimétrico.

Anexo P - Descrição da trincheira na Capoeira

Cambissolo Háptico Alumínico plântico

Horizonte A (0,00 – 0,07 m) → 7,5YR 2/0. Textura média com grãos de areia médios a grossos, abundantes; estrutura granular bem desenvolvida pequena, grau fraco a moderado (muito úmido); porosidade interagregado bem desenvolvida e abundante, friável; ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara e ondulada. Presença abundante de raízes finas e grossas; raízes grossas centimétricas, que se concentram bastante nesse horizonte e no seguinte.

Horizonte AB (0,07 – 0,15 m) → bruno; 10YR 5/3. Textura média com areia grossa e média abundante; estrutura em blocos angulares, tamanho médio a pequeno; subestrutura granular, que se forma pelo dismantelamento do bloco, principalmente nas áreas mais escuras; graus de estrutura moderado a fraco, que se desfazem em uma subestrutura granular; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara. Presença moderada de raízes finas e abundância de raízes centimétricas, que ocupam mais ou menos 15% do horizonte.

Horizonte BA (0,15 – 0,27 m) → 10YR 5/4 (poucas áreas mais escuras). Textura média (aumenta a quantidade de argila em relação à superfície); presença de areia grossa e média e alguns grãos milimétricos; estrutura em blocos angulares dominantes de grau moderado, tamanho médio, que após uma pressão moderada dos dedos se desfazem em estrutura em blocos pequenos e granulares, friável; ligeiramente pegajoso e plástico; transição clara. Presença moderada de raízes finas e grossas, que ocupam de 10 a 15% do horizonte; há uma grande concentração de raízes centimétricas e finas nesses primeiros três horizontes.

Horizonte Bi (0,27 – 1,00 m) → 10YR 6/6. Textura média (um pouco mais de argila que a superfície) e presença abundante de areia grossa e média; estrutura em blocos angulares de tamanho médio e grau moderado que se desfaz, com pressão moderada dos dedos, em blocos angulares pequenos e granulares; porosidade interagregados formada pela acomodação das faces dos agregados em blocos; alguns poros tubulares pequenos intra-agregados; presença de alguns minerais primários; friável quando úmido; ligeiramente pegajoso e plástico; transição abrupta. Presença de raízes que se concentram principalmente nas paredes dos agregados, raízes finas com algumas destas atravessando o agregado, formando uma porosidade tubular bem desenvolvida, milimétrica, mas a porosidade principal

interagregados é formada pelo arranjo das faces dos agregados; presença de raízes finas moderadas abundantes; só nos 5 – 10 cm desse horizonte encontramos poucas raízes centimétricas; e nos últimos 5 – 10 cm desse horizonte aumenta a quantidade de quartzo milimétrico; umidade elevada.

Horizonte BC (glei plíntico; 1,00 – 1,45 m) → presença de mosqueados: vermelho escuro (7,5YR 5/8), laranja mais vivo (7,5YR 6/8) e matiz acinzentada (10YR 7/2); textura média (abundância de areia grossa e muito grossa – mais de 2 mm); presença de cascalho e quartzo milimétrico; estrutura em blocos angulares médio e moderado, prismáticos; os blocos se desfazem em agregados muito pequenos, quase granulares; porosidade tubular, com porosidade principal formada pela face dos agregados; ligeiramente pegajoso e plástico; transição abrupta. Presença de material de origem em muitos centímetros; calhaus grandes; pedaço de granito centimétrico no perfil. Presença de raízes poucas a moderadas e finas, que se organizam na superfície dos agregados.

Horizonte B plíntico (1,45 – 1,65 m) → 7,5YR 5/8; 7,5YR 6/8. Textura média, com presença abundante de mineral primário (muita mica); horizonte bem avermelhado, concentração de ferro e alguns feldspatos intemperizados, e presença de quartzo milimétrico, muitos grãos milimétricos de minerais primários; estrutura em blocos angulares médios e alguns pequenos; poros formados pelas faces dos agregados; friável; ligeiramente pegajoso e pouco plástico; transição abrupta a clara; parece um horizonte de alteração; presença de nódulos ferruginosos friáveis. Presença de poucas raízes finas.

Horizonte C plíntico (1,65 – 2,00+ m) → 7,5YR 6/8 e 7,5YR 5/8 (alaranjado); 10YR 3/2 (nódulo arroxado); presença de mosqueados cor laranja vivo e de diversas cores. Textura média com matriz argilosa e dominância de areia média grossa e muito grossa; muito cascalho; presença de muitos minerais primários; agregados em blocos angulares de grau moderado a fraco; estruturação incipiente; porosidade formada pelo arranjo das faces dos agregados; não pegajoso e não plástico; nódulos ferruginosos friáveis. Presença de poucas a muito poucas raízes finas; ausência de raízes grossas.