



DISSERTAÇÃO

**AVALIAÇÕES VISUAIS DO SOLO COMO
ÍNDICE DE QUALIDADE DE UM
LATOSSOLO VERMELHO EM OITO USOS E
MANEJOS E SUA VALIDAÇÃO POR
ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS**

LUIZ AUGUSTO CARDOSO NIERO

Campinas, SP
2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

INSTITUTO AGRONÔMICO

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA
TROPICAL E SUBTROPICAL

AVALIAÇÕES VISUAIS DO SOLO COMO ÍNDICE DE
QUALIDADE DE UM LATOSSOLO VERMELHO EM
OITO USOS E MANEJOS E SUA VALIDAÇÃO POR
ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

LUIZ AUGUSTO CARDOSO NIERO

Orientadora: Sonia Carmela Falci Dechen

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** em Agricultura Tropical e Subtropical, Área de concentração Gestão em Recursos Agroambientais

Campinas, SP
Junho 2009

Ficha elaborada pela bibliotecária do Núcleo de Informação e Documentação
do Instituto Agronômico

N676a Niero, Luiz Augusto Cardoso
Avaliações visuais do solo como índice de qualidade de um latossolo
vermelho em oito usos e manejos e sua validação por análises físicas e
químicas / Luiz Augusto Cardoso Niero. Campinas, 2009. 111 f.

Orientadora: Sonia Carmela Falci Dechen
Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical)
– Instituto Agronômico

1. Avaliação visual do solo 2. Qualidade do solo 3. Física do solo
I. Dechen, Sonia Carmela Falci II. Título

CDD 631.41



SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA
DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO AGRONÔMICO
Pós-Graduação
Av. Barão de Itapura 1481 Caixa Postal 28
13001-970 Campinas, SP - Brasil
(019) 3231-5422 ramal 194
pgiac@iac.sp.gov.br



Curso de Pós-Graduação
Agricultura Tropical e Subtropical
Certificado de Aprovação

Título: Avaliações visuais do solo como índice de qualidade de um Latossolo Vermelho em oito usos e manejos e sua validação por análises físicas e químicas

Aluno: Luiz Augusto Cardoso Niero

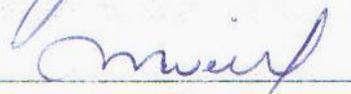
Área de Concentração: Gestão de Recursos Agroambientais

Processo SAA nº: 12182/07

Orientadora: Dra. Sonia Carmela Falci Dechen

Aprovado pela Banca Examinadora:


Dra. Sonia Carmela Falci Dechen - IAC


Dra. Mara de Andrade Marinho Weill - UNICAMP


Dr. Sidney Rosa Vieira - IAC

Campinas, 14 de abril de 2009

Visto:


Adriana Parada Dias da Silveira
Coordenadora
Pós-Graduação Instituto Agrônomo

A Deus.

Aos meus pais, José e Maria,
pela confiança e exemplo de conduta e amor

DEDICO

A minha filha Luiza, que me inspira
a superar os desafios.

A minha nubente Flávia, por todo
carinho e compreensão.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

- A Deus
- À minha orientadora PqC Dra. Sonia Carmela Falci Dechen pela orientação, e exemplo de seriedade e incentivo a pesquisa.
- À PqC Dra. Isabella Clerici De Maria pela atenção, sugestões e auxílio durante todas as fases do trabalho.
- Ao PqC Dr. Ricardo Marques Coelho, pelo auxílio no desenvolvimento da metodologia de avaliação visual no campo.
- Aos pesquisadores científicos Dr. Cristiano Alberto de Andrade e Dr. Alisson Fernando Chiorato pelo auxílio nas análises estatísticas.
- Ao Instituto Agrônomo pela oportunidade e estrutura cedida no desenvolvimento deste trabalho.
- Aos funcionários da PG-IAC, pela atenção, repasse de informações e atendimento das questões burocráticas.
- Às técnicas do Laboratório de Física do Solo do Centro de Solos Luzia Aparecida Felisbino da Silva, Maria Elizabete Alves de Freitas e Regina Célia Batista Moretti pela realização das análises físicas do solo.
- Ao funcionário Antonio Ribeiro de Souza, pela dedicação e prontidão nas coletas de campo.
- A todos os funcionários e estagiários do Centro de Solos, que direta ou indiretamente contribuíram para elaboração deste trabalho.
- Ao mestrando da PG-IAC e amigo César Hideo Nagumo pela ajuda na coleta de dados e auxílio na parte gráfica.
- Ao amigo Eng^o. Agrônomo MSc. João Paulo Lopes, pelo incentivo e auxílio durante todo o ciclo de mestrado e de elaboração desse trabalho.
- Ao amigo Eng^o. Agrônomo Luiz Abreu, pelos anos de companheirismo.
- A toda minha família e aos amigos André Caldana, Gabriel Steck e Leandro Biasi.
- À Prefeitura Municipal de Louveira, especialmente aos colegas da Divisão de Meio Ambiente, pelo apoio e compreensão nas ausências.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE TABELAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE ANEXOS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	02
2.1 Qualidade do solo x Práticas de Manejo.....	02
2.2 Indicadores de Qualidade.....	05
2.3 Avaliação Visual do Solo (AVS).....	11
2.4 Índices de Qualidade.....	13
2.5 Análise Multivariada.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1 Tratamentos.....	17
3.2 Ordenação Teórica dos Tratamentos quanto a qualidade do solo.....	18
3.3 Amostragem do solo.....	19
3.4 Avaliação dos atributos de qualidade do solo.....	19
3.4.1 Avaliações Visuais.....	19
3.4.2 Análises Laboratoriais.....	25
3.5 Índices de Qualidade do Solo.....	31
3.6 Análise Estatística.....	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1 Atributos Físicos.....	34
4.1.1 Granulometria.....	34
4.1.2 Estabilidade de Agregados.....	36
4.1.3 Porosidade, densidade do solo e água disponível.....	43
4.1.4 Consistência.....	47
4.2 Atributos Químicos.....	48
4.3 Avaliações Visuais.....	53
4.4 Índices de Qualidade.....	56
4.4.1 Índice obtido a partir da avaliação visual.....	56
4.4.2 Índices obtidos com base nos atributos físicos.....	58
4.4.2.1 Índice S.....	58
4.4.2.2 Estrutura segundo Thomasson.....	62
4.5 Correlação.....	66
4.6 Análise de Componentes Principais.....	72
4.7 Eficiência dos Indicadores Visuais na Avaliação da Qualidade do Solo.....	76

5 CONCLUSÕES.....	79
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
7 ANEXOS.....	93

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 -	Principais indicadores físicos, químicos e biológicos e suas relações com a qualidade do solo.....	05
Tabela 2 -	Notas atribuídas em relação à variação no Valor da Escala de Munsell.....	24
Tabela 3 -	Componentes da distribuição granulométrica do solo (areia, silte e argila), em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico, em Campinas, SP na profundidade de 0 – 0,20 m.....	35
Tabela 4 -	Porcentagem de agregados por classe de diâmetro, diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG), em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP na profundidade de 0 - 0,20 m.....	38
Tabela 5 -	Porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo e água disponível, em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP, na profundidade de 0 - 0,20 m.....	44
Tabela 6 -	Valores médios para os limites de liquidez, plasticidade e o índice de plasticidade em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico, em Campinas, SP na profundidade de 0 - 0,20 m.....	48
Tabela 7 -	Atributos químicos da fertilidade do solo em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP na profundidade de 0 - 0,20 m.....	52
Tabela 8 -	Valoração visual para os atributos do solo em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP.....	55
Tabela 9 -	Valores do índice visual e a classificação quanto a qualidade do solo, segundo SHEPHERD (2000), em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP.....	56
Tabela 10 -	Valores médios dos parâmetros m , n , θ_{res} , θ_{sat} e valor médio calculado do índice S , em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico, em Campinas, SP.....	59
Tabela 11 -	Valores da capacidade de aeração do solo (C_{ar}) e água disponível (A_w) utilizados na classificação da estrutura segundo Thomasson (1978), em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP.....	65

Tabela 12 -	Matriz de correlação linear simples entre as variáveis dos atributos químicos, físicos e biológicos, de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP.....	68
Tabela 13 -	Estimativa dos autovalores associados aos três primeiros componentes principais juntamente com sua importância relativa (% variância) e acumulada (% acumulada) referente às variáveis de resposta de um Latossolo Vermelho Distroférico, em Campinas, SP, independente do uso e manejo.....	72
Tabela 14 -	Coefficientes de correlação associados a cada variável de resposta de um Latossolo Vermelho Distroférico, em Campinas, SP, na definição dos três primeiros componentes principais.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização e coordenadas geográficas da cidade de Campinas, SP.....	16
Figura 2 -	Vista Geral da distribuição das áreas dos oito tratamentos: 1 - Cultura permanente, Seringueira; 2 - Cultura anual em sistema plantio direto há vinte anos; 3 - Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, com três doses de lodo de esgoto: L0 (testemunha), L1 (10 t ha-1) e L2 (20 t ha-1); 4 - Cultura anual em sistema plantio direto implantado há oito anos; 5 - Cultura anual em sistema convencional de plantio; 6 - Mata nativa.....	18
Figura 3	Avaliação visual da estrutura. Detalhe da separação das frações mais grosseiras para uma extremidade e mais finas para a outra, fornecendo uma medida da distribuição e tamanho dos agregados.....	21
Figura 4 -	Torrão com tamanho aproximado de 0,15 a 0,20 m e exposição da face onde houve quebra natural de estrutura, utilizado na avaliação visual da porosidade e da cor do solo em relação a variação da cor a partir da testemunha (mata).....	23
Figura 5 -	Avaliação visual da cobertura do solo. Tratamento plantio direto há vinte anos, PD20 (A). Tratamento plantio convencional, PC (B).....	24
Figura 6 -	Avaliação da presença de camada compactada no perfil do solo, verificada pela abertura de trincheira na profundidade de 0,35 m. Tratamento plantio convencional, PC (A). Tratamento seringueira, S (B).....	25
Figura 7 -	Saturação das amostras nos anéis volumétricos (A); Câmaras de Richards para determinação da retenção de água nos vários pontos de tensão (B).....	26
Figura 8 -	Determinação da estabilidade de agregados por via úmida. Conjunto de seis peneiras utilizadas no peneiramento (A); Agregados selecionados de tamanho entre 9,52 mm e 4,00 mm (B); Detalhe da peneira superior com diâmetro de 7,93 mm (C).....	27
Figura 9 -	Modelo da classificação da estrutura do solo com base nos indicadores capacidade de aeração (Car) e água disponível (Aw), segundo THOMASSON (1978).....	32
Figura 10 -	Modelo da caderneta de campo, com a ponderação dos pesos de cada atributo utilizado na classificação visual do solo e o indicador visual de qualidade, adaptado de SHEPHERD (2000).....	33

Figura 11 -	Distribuição das frações argila, silte e areia em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP na profundidade de 0 – 0,20 m.....	35
Figura 12 -	Distribuição dos agregados nas classes de tamanho 9,52-7,93 mm, 7,93-6,35 mm, 6,35-4,00 mm e 4,00-2,00 mm em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP na profundidade de 0 – 0,20 m (A). Distribuição dos agregados nas classes de tamanho 2,00-1,00 mm, 1,00-0,50 mm, < 0,50 mm e > 4 mm em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP na profundidade de 0 – 0,20 m (B). Distribuição dos agregados na classe de tamanho < 2,00 mm, diâmetro médio ponderado e diâmetro médio geométrico em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP na profundidade de 0 – 0,20 m (C).....	41
Figura 13 -	Variação nos valores do índice visual em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico, Campinas, SP.....	57
Figura 14 -	Curvas médias de retenção de água do solo em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP.....	58
Figura 15 -	Sensibilidade do índice S em distinguir alterações introduzidas por oito usos e manejos na qualidade física de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP.....	60
Figura 16 -	Tendência de comportamento do índice S em função das variações nos valores de densidade e macroporosidade em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP.....	61
Figura 17 -	Classificação da estrutura do solo (Thomasson, 1978), em quatro repetições para oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP.....	64
Figura 18 -	Projeção dos componentes principais 1, 2 e 3 (com respectivamente 44,0 %, 25,3% e 13,0 % da variação explicada) retidos na análise das 55 variáveis de resposta de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP, em oito usos e manejos.....	76

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 -	Croqui usado na demarcação das parcelas no tratamento MT utilizando-se das próprias árvores (nativas diversas) como pontos referenciais para as parcelas que foram definidas lado a lado.....	94
Anexo 2 -	Croqui usado na demarcação das parcelas no tratamento S utilizando-se das próprias árvores (seringueiras) como pontos referenciais para as parcelas que foram definidas de modo que no seus comprimentos fossem perpendiculares as entrelinhas de cultivo..	95
Anexo 3 -	Croqui usado na demarcação das parcelas do tratamento PD20 utilizando-se de duas linhas limites, definidas por meio de visadas referenciadas em pontos fixos (postes e árvores), distribuindo-se as parcelas lado a lado.....	96
Anexo 4 -	Croqui usado na demarcação das parcelas no tratamento PD8 utilizando-se um pequeno muro que delimita a área do tratamento como referência para locar as parcelas.....	97
Anexo 5 -	Croqui das parcelas permanentes de 4 m x 25 m para coleta de terra e água por erosão com tratamentos com lodo de esgoto L0, L1 e L2.....	98
Anexo 6 -	Croqui usado na demarcação das parcelas do tratamento PC utilizando-se de duas linhas limites, definidas por meio de visadas referenciadas em pontos fixos (postes e árvores), distribuindo-se as parcelas lado a lado.....	99
Anexo 7 -	Fotografias do manual de campo usadas na avaliação visual da estrutura do solo.....	100
Anexo 8 -	Fotografias do manual de campo usadas na avaliação visual da porosidade do solo.....	101
Anexo 9 -	Fotografias do manual de campo usadas na avaliação visual da cor do solo.....	102
Anexo 10 -	Fotografias do manual de campo usadas na avaliação visual da cobertura do solo.....	103
Anexo 11 -	Fotografias do manual de campo usadas na avaliação visual da presença de camada compactada no solo.....	104
Anexo 12 -	Planilhas de campo usadas na valoração dos atributos de qualidade visual do solo para cada tratamento e repetição juntamente com o índice e a classificação visual.....	105
Anexo 13 -	Quadro geral dos atributos analisados por meio da correlação linear simples em oito usos e manejos e as respectivas repetições.....	108

NIERO, Luiz Augusto Cardoso. **Avaliações visuais do solo como índice de qualidade de um Latossolo Vermelho em oito usos e manejos e sua validação por análises físicas e químicas.** 2009. 111f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Pós-Graduação – IAC.

RESUMO

Os sistemas de cultivo modificam os atributos do solo e podem afetar sua qualidade. Tradicionalmente avaliados por métodos laboratoriais, os atributos do solo vêm sendo empregados como indicadores de sua qualidade e embora sejam bastante precisos são, por muitas vezes, de difícil acesso ao produtor. A avaliação visual da qualidade do solo (AVS) fornece, de maneira rápida, confiável e barata, as informações necessárias ao planejamento agrícola, constituindo uma importante ferramenta para identificar práticas de manejo sustentáveis. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho da AVS em acessar a qualidade do solo e em caracterizar visualmente práticas de manejo. Os experimentos envolveram tratamentos com graníferas em sistema plantio direto há vinte e há oito anos, graníferas com aplicação de três doses de lodo de esgoto, algodão em plantio convencional, cultura permanente (seringueira) e mata nativa. As áreas experimentais estão localizadas em Latossolo Vermelho Distroférrico no Centro Experimental Central do Instituto Agronômico, no município de Campinas, SP. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com oito tratamentos e quatro repetições constituídas em parcelas de 4 m de largura por 25 m de comprimento. Em julho de 2007 foram coletadas amostras compostas na profundidade de 0-0,20 m para as análises laboratoriais que consistiram de: granulometria, estabilidade de agregados, porosidade, consistência e análises químicas. Em maio de 2008 foram realizadas as avaliações visuais no campo em um bloco de 0,20 m de lado por parcela. A AVS foi realizada nos indicadores estrutura, consistência, cor, porosidade, número de minhocas, mosqueado, camada compactada, cobertura e profundidade do solo. A cada indicador foi dada uma valoração visual de zero (pobre), 1 (moderado) e 2 (bom). Os dados foram submetidos à análise de variância com as médias comparadas pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. Também foi feita a análise dos dados por meio de estatística multivariada de componentes principais. Os resultados indicaram que o uso intensivo do solo contribuiu para a redução de sua qualidade e que os sistemas com baixa mobilização apresentaram boa qualidade física manifestada pelo estado de agregação, porosidade e densidade do solo. Os tratamentos selecionados foram

teoricamente ordenados quanto à qualidade do solo, a qual foi reproduzida de forma eficiente pelo índice visual de qualidade. Os atributos utilizados pela AVS apresentaram correspondência com os tradicionalmente utilizados em ciência do solo. O uso do método proposto pela AVS constitui uma ferramenta prática e sensível às alterações do manejo embora sua eficiência deva ser confirmada para outros tipos de solo.

Palavras-Chave: avaliação visual do solo, qualidade do solo, física do solo.

NIERO, Luiz Augusto Cardoso. **Visual soil assessments as quality index of an Oxisol under eight uses and management and its validation by physical and chemical analysis.** 2009. 111f. Dissertation (MSc in tropical and subtropical agriculture) – Post-Graduate – IAC.

ABSTRACT

Cropping systems modify soil attributes and can affect their quality. Traditionally evaluated by laboratory analytical methods, soil attributes have been used as indicators of its quality and are very accurate but many times, are of difficult access by the producer. Visual Soil Assessment (VSA) has been developed to help land managers to assess soil condition easily, reliably and cheaply on a field scale. The objective of this study was to evaluate the performance of the VSA in the assessment of soil quality and in the visual characterization of management practices. The experiments involved the following treatments: grain crop cultivated for twenty and eight years under no-tillage system; grain crop with the use of sewage sludge in three application levels; cotton in conventional tillage; perennial crop and native forest. The experimental fields are located in an Oxisol within the Centro Experimental Central of Instituto Agronômico in Campinas, State of São Paulo, Brazil. The experimental design was completely randomized with eight treatments and four replications in plots with 4 m wide and 25 m length. The soil composite samples were collected in July 2007 at the 0 – 0,20 m depth for physical and chemical analysis: size distribution, aggregate stability, porosity, texture and chemical analysis. The visual soil assessments was carried in May 2008 with a single clod of 0,20 m side per plot. The VSA was carried out in the following soil attributes: soil structure, soil consistency, soil color, soil porosity, number of earthworms, mottles, presence of tillage pan, soil cover and soil depth. For each indicator a visual score of zero (poor), 1 (moderate) and 2 (good) was given. Data were submitted to analysis of variance with the averages compared by Scott-Knott test at 5% probability. A multivariate analysis (principal component analysis) was also used. The results indicated that the intensive use of land contributed to reduction in its quality and that systems with low mobilization showed good physical quality expressed by soil aggregation, soil porosity and soil bulk density. The soil management treatments were theoretically classified in the decreasing order of soil quality, which efficiently reproduces by the soil quality classification. The attributes used showed correspondence between VSA and traditional soil science methods. The VSA method

was an efficient tool to evaluate the soil quality and it was showed to be sensitive to changes caused by soil management systems but its effectiveness must be confirmed for other soil types.

Key words: visual soil assessment, soil quality, soil physics.

1 INTRODUÇÃO

A produtividade da terra está relacionada a atributos do solo que atuam de maneira direta e considerável na manutenção de nutrientes, na disponibilidade de água, no crescimento das plantas e no rendimento agrícola. O solo é um recurso natural em que atributos físicos, químicos e biológicos são vitais para o funcionamento do ecossistema terrestre. Mudanças nos atributos do solo podem significar perda de qualidade afetando significativamente a sustentabilidade ambiental e econômica da atividade agrícola (SHEPHERD, 2000).

Algumas práticas de manejo do solo e das culturas provocam alterações nos atributos do solo, e como consequência tem crescido o interesse da comunidade científica em avaliar a qualidade do solo submetido a diferentes processos de cultivo a fim de definir a tecnologia mais racional de uso do solo. A compreensão e a quantificação do impacto do uso e manejo na qualidade dos solos são fundamentais no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis.

Para DORAN & PARKIN (1994) a qualidade do solo envolve sua capacidade de funcionar dentro dos limites de um ecossistema, sustentando a produtividade biológica, mantendo a qualidade do ambiente e promovendo a saúde das plantas e dos animais. Conceitos de qualidade do solo vêm sendo desenvolvidos, classificando - os mediante a avaliação de seus atributos, especialmente para uso agrícola. A qualidade do solo pode ser avaliada por meio de atributos relacionados à sua capacidade de suprir nutrientes para as plantas, em suportar o crescimento e desenvolvimento de raízes, proporcionar uma adequada atividade biológica e em propiciar uma adequada estabilidade estrutural para resistir a erosão e para reter água para as plantas. Para a avaliação da qualidade do solo agrícola tem sido postulada a necessidade de identificar parâmetros do seu estado de conservação e/ou degradação, sendo comumente utilizados como referência solos sob mata nativa sem interferência antrópica.

Na avaliação da qualidade do solo são amplamente utilizados, no intuito de conservar o meio ambiente e maximizar a produção agrícola, parâmetros agrônômicos definidos com base em metodologias laboratoriais que, embora sejam bastante precisos e apresentem, por muitas vezes, valores de referência, são de difícil acesso ao produtor por demandarem tempo e dinheiro.

A necessidade de diagnóstico rápido e confiável da qualidade do solo conduziu ao desenvolvimento de um kit de qualidade pelo USDA-ARS (1998), bem como ao uso de metodologias baseadas na avaliação visual de atributos. Segundo SHEPHERD (2000), o uso de avaliações visuais para a qualidade do solo fornece, de maneira rápida, segura e barata, as informações necessárias ao planejamento agrícola; ainda, segundo o autor, a avaliação visual caracteriza-se pela simplicidade e praticidade dos métodos utilizados.

A avaliação visual do solo (AVS), segundo HOUSKOVA (2005), é baseada na avaliação de seus atributos e em indicadores que são visíveis ou passíveis de serem distinguidos sem análises laboratoriais. A AVS pode ser usada como instrumento de apoio na avaliação da qualidade e da sustentabilidade do solo de acordo com seu uso e ocupação. Buscando caracterizar o ambiente para o correto desenvolvimento das plantas, a AVS possibilita avaliar, entre outros, os seguintes indicadores do solo: textura, estrutura, consistência, porosidade, cor, presença de horizontes compactados, número de minhocas e grau de erosão.

No Brasil ainda são escassas as informações a respeito do uso da AVS e a eficácia de seus indicadores. É necessário portanto, avaliar esses atributos visuais que são potencialmente indicadores da qualidade do solo e podem proporcionar um fácil entendimento e uma rápida resposta.

As hipóteses deste estudo são de que é possível obter um diagnóstico da qualidade do solo utilizando o método visual de avaliação e de que existe relação inversa entre a intensidade de uso do solo e sua qualidade.

Este trabalho teve por objetivos avaliar o desempenho da AVS como índice de qualidade do solo, comparar a AVS com índices de qualidade obtidos por determinações físicas e químicas, em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférrico.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Qualidade do solo x Práticas de manejo

A compreensão e a quantificação do impacto do uso e manejo do solo na sua qualidade são fundamentais no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (DEXTER & YOUNGS, 1992). O solo quando submetido a determinados sistemas de

manejo, tende a um novo estado de equilíbrio, refletido em diferentes manifestações de seus atributos, os quais poderão ser desfavoráveis à conservação do solo e a produção das culturas.

Segundo VIEIRA & MUZILLI (1995), os efeitos diferenciados sobre os atributos físicos devido ao tipo de preparo de solo adotado em cada sistema de manejo, são dependentes da intensidade de revolvimento, do trânsito de máquinas, do tipo de equipamento utilizado, do manejo dos resíduos vegetais e das condições de umidade do solo no momento do preparo. O uso incorreto de máquinas e equipamentos agrícolas tem sido apontado por CAMPOS et al. (1995), como uma das principais causas de degradação da estrutura do solo e da redução da produtividade das culturas. Como consequência, tem crescido o interesse em se avaliar a qualidade do solo submetido a diferentes processos de cultivo a fim de definir a tecnologia mais racional para seu uso. Vários trabalhos compararam a qualidade de solos tropicais sob diferentes sistemas agrícolas, como citado por COSTA et al. (2006) podem-se destacar: DE MARIA et al. (1999), SILVA et al. (2000), BEUTLER et al. (2001), STONE & SILVEIRA (2001), D'ANDRÉA et al. (2002), GOEDERT et al. (2002), MENDES et al. (2003), OLIVEIRA et al. (2004) e DUFRANC et al. (2004).

A alteração da qualidade do solo pode ser avaliada pela mensuração do estado atual de determinados atributos e comparação deste com o solo em estado natural sem interferência antrópica ou com valores que são considerados ideais (DORAN & PARKIN, 1994; SARRANTONIO et al., 1996). Esses estudos podem ser feitos utilizando solos cultivados e sob mata nativa, desde que mantidos os critérios genéticos e topográficos relacionados com a formação dos solos. No Brasil, têm sido feitos alguns estudos avaliando as mudanças nos atributos dos solos utilizando mata como referência (SILVA & RIBEIRO, 1992; ARAÚJO et al., 1998; BORGES et al., 1999; DIAS JUNIOR & ESTANISLAU, 1999; SANCHES et al., 1999;). ISLAM & WEIL (2000) propuseram a utilização de dados das características físicas, químicas e biológicas, coletados em solo de uma área de floresta natural não perturbada, como referência para montagem de um índice geral da qualidade do solo.

COSTA et al. (2003) avaliaram que, em relação à área sob mata nativa, contígua ao experimento e tomada como referência, o cultivo do solo em plantio convencional (PC) resultou não só no aumento da densidade global (Ds), da resistência do solo à penetração (RP) e de sua temperatura, mas também na diminuição do diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG); em contrapartida, a adoção do sistema plantio direto

(SPD) promoveu a melhoria nas propriedades físicas do solo em comparação ao PC, evidenciada pela diminuição de 9 % na densidade em subsuperfície, de 13 % nas temperaturas máximas, pelo aumento de 126 % no DMG dos agregados em superfície, e de 26 % no conteúdo de água volumétrica.

A qualidade do solo influi na produtividade da atividade agrícola e por essa razão, vários conceitos foram propostos diante da demanda de uma parcela significativa da comunidade científica, que reconheceu não só a necessidade do recurso solo ser pensado de forma mais integral e integradora como, também, pela necessidade de desenvolver uma nova forma de pensar o ecossistema agrícola (CASALINHO et al., 2007). Todos os conceitos de qualidade do solo têm em comum a capacidade do solo de funcionar efetivamente no presente e no futuro, sendo o mais amplo aquele da Sociedade Americana de Ciência do Solo, que define qualidade do solo como "a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro dos limites de ecossistemas naturais ou manejados, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água, promovendo a saúde humana e a habitação" (DORAN & PARKIN, 1994; KARLEN et al., 1997; SINGER & EWING, 2000).

KARLEN et al. (1997) apresentaram a concepção de que, se um solo está funcionando de acordo com o seu máximo potencial para um determinado uso, ele terá excelente qualidade; se não, o seu potencial pode ter sido alterado pelo uso ou manejo, ou o solo naturalmente possui baixa qualidade. Dessa forma, medir a qualidade do solo significa atribuir um valor ao solo em relação à sua capacidade de cumprir uma função específica.

Considerando o solo como um sistema em que ocorrem interações de atributos físicos, químicos e biológicos, e que estes são variáveis em função do tipo de solo, do clima, e do manejo, é pressuposto que a relação entre o manejo e a qualidade pode ser avaliada pelo comportamento desses atributos. Assim, o monitoramento da qualidade do solo pode ser realizado mediante avaliação dos seus atributos, que são importantes para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (SILVA et al., 2005).

DORAN & PARKIN (1994) sugeriram que no monitoramento da qualidade do solo, os atributos usados como indicadores de mudanças devem ser sensíveis ao manejo numa escala de tempo que permita a verificação. Tais atributos são indicadores de alterações na qualidade do solo e, podem, também, ser utilizados como indicadores ambientais.

2.2 Indicadores de Qualidade

Indicadores são atributos que medem ou refletem o status ambiental ou a condição de sustentabilidade do ecossistema. Os indicadores de qualidade do solo podem ser classificados como físicos, químicos e biológicos. Na tabela 1 estão apresentados os principais indicadores físicos, químicos e biológicos e suas relações com a qualidade do solo.

Tabela 1 - Principais indicadores físicos, químicos e biológicos e suas relações com a qualidade do solo.

INDICADORES	RELAÇÃO COM A QUALIDADE DO SOLO
Matéria orgânica do solo	Fertilidade, estrutura e estabilidade do solo
Físicos	
Estrutura do Solo	Retenção e transporte de água e nutrientes
Infiltração e densidade do solo	Movimento de água e porosidade do solo
Capacidade de retenção de água	Armazenamento e disponibilidade de água
Químicos	
pH	Atividade biológica e disponibilidade de nutrientes
Conteúdo de N, P e K	Disponibilidade de nutrientes para as plantas
Biológicos	
Biomassa microbiana	Atividade microbiana e reposição de nutrientes
Mineralização de nutrientes (N, P e S)	Produtividade do solo e potencial de suprimento de nutrientes

Fonte: ARAÚJO & MONTEIRO (2007) (adaptado de DORAN e PARKIN, 1994).

A dificuldade para quantificação da qualidade do solo está relacionada ao método para transformar a natureza complexa e específica de cada solo em atributos mensuráveis, que possam refletir o seu "estado" para funcionar, possibilitando avaliações sistemáticas independentes de seus múltiplos usos (SOJKA & UPCHURCH, 1999; WANDER & DRINKWATER, 2000). O critério para o uso de um parâmetro como indicador de qualidade é sua capacidade de representar processos ecológicos, integrar as propriedades físicas, químicas e biológicas, além de ser facilmente utilizável por especialistas, técnicos e agricultores (ARAÚJO & MONTEIRO, 2007)

Uma das propostas mais objetivas na avaliação da qualidade do solo sugere definir explicitamente as funções que determinam essa qualidade, identificar os atributos de cada função e, então, selecionar um conjunto mínimo de indicadores para medir cada função (DORAN & PARKIN, 1994; KARLEN & STOTT, 1994; LARSON & PIERCE, 1994; NORTCLIFF, 2002). Estabelecendo-se a função do solo, definem-se os processos e atributos que descrevem essa função, os indicadores relacionados aos

atributos e as metodologias para medi-los (CARTER et al., 1997). É, portanto, fundamental a escolha de um conjunto mínimo de indicadores que apresentem características como facilidade de avaliação, aplicabilidade em diferentes escalas, capacidade de integração, adequação ao nível de análise da pesquisa, utilização no maior número possível de situações, sensibilidade às variações de manejo e clima e possibilidade de medições por métodos quantitativos e/ou qualitativos (DORAN et al., 1996; USDA, 2001).

Os impactos do uso e manejo na qualidade física do solo, para agricultura, têm sido quantificados utilizando diversos atributos: densidade (DE MARIA et al., 1999; STONE & SILVEIRA, 2001), porosidade (BEUTLER et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2001) e resistência à penetração das raízes (TORMENA & ROLOFF, 1996; DE MARIA et al., 1999; ROSOLEM et al., 1999; BEUTLER et al., 2001).

Definindo a função do solo como ambiente para a produção agrícola, alguns atributos estão diretamente relacionados às condições essenciais para o desenvolvimento das culturas e podem, portanto, ser considerados atributos indicadores de qualidade. Em trabalhos dessa natureza, a qualidade do solo pode ser avaliada considerando sua capacidade em suprir nutrientes para as plantas, para suportar o crescimento e desenvolvimento de raízes, para proporcionar uma adequada atividade biológica, em propiciar uma adequada estabilidade estrutural, para resistir a erosão e para reter água para as plantas, entre outros (CASALINHO et al., 2007).

Dentre os atributos físicos do solo, a estrutura é uma propriedade sensível ao manejo e pode ser analisada segundo variáveis relacionadas à sua forma (ALBUQUERQUE et al., 1995) e ou a sua estabilidade (CAMPOS et al., 1995). De modo geral, com o aumento da intensidade de cultivo tem sido observada alteração no tamanho dos agregados, aumento da densidade, redução da porosidade total e aumento da resistência à penetração (ALBUQUERQUE et al., 1995; ALVARENGA & DAVIDE, 1999; ANJOS et al., 1994; D'ANDRÉA, 2001; SILVA & MIELNICZUK, 1997).

A degradação da estrutura causa ao solo perda das condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal e o predispõe ao aumento de erosão hídrica. Alterações da estrutura do solo interferem no fluxo de água, na infiltração e, conseqüentemente, no escoamento superficial e na erosão, influenciando sobre sua função de separar e regular o fluxo de água no ambiente. Também interferem no desenvolvimento vegetal e no crescimento das raízes por modificar a resistência ao crescimento radicular e a aeração,

influenciando assim, no solo, como meio para a produção de culturas (DE MARIA et al., 1997). Dessa forma esse atributo é importante para se avaliar a qualidade do solo, porque complementa o estudo de avaliação do arranjo entre sólidos e vazios e têm sido utilizado para indicação de ações de manejo e de conservação. A melhoria da estrutura é acompanhada pelo aumento da permeabilidade, pelo decréscimo na erodibilidade e pela redução no escoamento superficial de água e, conseqüentemente, pela redução da erosão hídrica (WISCHMEIER, 1966) e aumento da qualidade do solo.

Agregados são componentes da estrutura do solo e, portanto, de suma importância na manutenção da porosidade e aeração, no crescimento das plantas e da população microbiana, na infiltração de água e no controle dos processos erosivos (OADES, 1984; DEXTER, 1988). Assim a estabilidade de agregados pode ser utilizada como indicadora da degradação ou da recuperação da qualidade do solo. A estabilidade de agregados caracteriza a resistência que eles oferecem à ruptura causada por agentes externos, ou seja, ação mecânica ou ação hídrica, sendo a agregação de grande importância para a produção agrícola.

A estabilidade de agregados é resultado de processos biológicos, químicos e físicos que ocorrem interativamente no solo (TISDALL & OADES, 1982). Dentre os fatores que influenciam a formação e a estabilização dos agregados, destacam-se a textura (REICHERT et al., 1993), a mineralogia da fração argila, o tipo e teor de cátions presentes, a matéria orgânica e os tipos de microrganismos (REICHERT & NORTON, 1994; CARTER, 2002), as raízes de plantas e resíduos vegetais (SILVA & MIELNICZUK, 1998) e os sistemas de manejo (LIMA et al., 2003). A partir da sua avaliação, pode-se inferir sobre a capacidade de infiltração e retenção de água, condutividade hidráulica e erodibilidade (LE BISSONNAIS, 1996). MARQUEZ et al. (2003) postulam que a qualidade do solo pode ser avaliada por meio da quantificação de agregados estáveis.

CARPENEDO & MIELNICZUK (1990) avaliando a estabilidade e a qualidade dos agregados em água, de um Latossolo Roxo distrófico e um Latossolo Roxo álico, em condições naturais e sob diferentes manejos, constataram que o solo submetido ao preparo convencional apresentou menor agregação do que o solo sob mata nativa, e o plantio direto melhorou a agregação sendo que as frações menores que 0,50 mm de diâmetro foram agregadas em frações maiores. SILVA & MIELNICZUK (1997) também encontraram menor agregação sob cultivo convencional com culturas anuais.

CASTRO FILHO et al. (1998) avaliando parâmetros de agregação para os sistemas de manejo, preparo convencional e plantio direto, na camada de 0-0,1 m, verificaram, para o plantio direto, aumentos relativos de 74% para o DMP, de 70% para o DMG e de 10,4% para o IEA em relação ao preparo convencional. A maior agregação em semeadura direta foi relacionada ao maior acúmulo de matéria orgânica proporcionada por esse sistema em relação ao preparo convencional.

A porosidade é um atributo que influencia a qualidade do solo, sendo também um dos componentes da estrutura e influenciada pela agregação. Segundo TOPP & ZEBCHUK (1979), das diferentes propriedades físicas usadas na quantificação da qualidade do solo, a densidade e a porosidade são as mais amplamente utilizadas. Do ponto de vista biológico, um solo com boa qualidade física requer balanço entre aeração e retenção de água, além da resistência à penetração não impeditiva ao crescimento e as funções biológicas das raízes (LETEY, 1985).

BARBOSA et al. (2004) encontraram melhoria na capacidade de armazenamento e de infiltração de água pelo aumento da porosidade total, aeração e diminuição da densidade em Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto, relacionadas ao incremento da matéria orgânica proporcionado pelo tratamento. Em sistemas que prevêm baixa mobilização e revolvimento, como em plantio direto, observam-se menor macroporosidade e porosidade total em superfície e maior em subsuperfície, quando comparadas com as do preparo convencional (ARGENTON et al., 2005; BERTOL et al., 2004). As alterações causadas na porosidade do solo, além de modificarem as trocas gasosas, alteram a disponibilidade de água para as plantas (ARGENTON et al., 2005). Esses mesmos autores notaram que, em preparo reduzido e em cultivo convencional, a degradação do solo pelo cultivo ocorreu principalmente pelo aumento da densidade e redução da macroporosidade, tendo sido a microporosidade menos afetada.

Outra alteração que pode ocorrer na estrutura do solo é a compactação. Segundo TAVARES FILHO et al. (1999), a estrutura é alterada em função da compactação, sendo que os macroagregados são destruídos podendo impedir o crescimento de raízes e diminuir o volume explorado pelo sistema radicular. Em consequência da compactação, tem-se um aumento da resistência à penetração e redução da porosidade, da continuidade de poros, da permeabilidade e da disponibilidade de nutrientes e água. Esse processo reduz o crescimento e o desenvolvimento radicular e aumenta as perdas

de nitrogênio por desnitrificação, o consumo de combustível nas operações de preparo e a erosão pela menor infiltração de água (SOANE & OUWERKERK, 1994).

A exemplo da estrutura, avaliar a textura de um solo é um dos itens fundamentais, pois está relacionada aos indicadores mais importantes. A textura é uma propriedade básica que influencia significativa e diretamente os atributos físicos e direta ou indiretamente atributos químicos e biológicos (HOUSKOVA, 2005).

A consistência do solo que ocorre em função das forças de adesão e coesão; inclui propriedades como resistência à compressão e ao esboroamento, friabilidade, plasticidade e pegajosidade. Varia com textura, quantidade de matéria orgânica, quantidade e natureza do material coloidal e teor de água (PRADO 1995). Pelo descrito, e embora não existam muitos relatos a respeito de seu uso com indicador de qualidade, a consistência do solo merece grande atenção na avaliação de sua qualidade visto a interação com outros atributos e a influência direta nas operações de preparo e manejo do solo.

Outro atributo, não do solo, mas importante para se avaliar sua qualidade, é a presença de cobertura vegetal proporcionada pelo sistema de manejo implantado na área. LOPES et al. (1987) verificaram redução de 40 % a 60 % nas perdas de terra com 20 % de cobertura com resíduos culturais em relação às perdas totais ocorridas em solo descoberto. Com a manutenção do resíduo cultural, além de proteção do solo do impacto da gota de água de chuva, tem-se impedimento físico, com aprisionamento das partículas desagregadas e diminuição da velocidade da enxurrada, pelo aumento da tortuosidade do fluxo.

COSTA et al. (2003) comprovaram que o armazenamento de água na camada de 0-0,20 m, que foi $99 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, foi superior no solo sob semeadura direta do que em plantio convencional. Os valores mais adequados de umidade e temperatura no sistema de semeadura direta, juntamente com a melhoria das características físicas, teriam sido favoráveis aos maiores rendimentos obtidos.

BRAIDA & CASSOL (1999), avaliando a erosão entressulcos com diferentes quantidades de palha de trigo e milho, constataram decréscimo exponencial da erosão com o aumento da cobertura vegetal. As parcelas com cerca de 100% de cobertura apresentaram redução de 92% na erosão entressulcos em relação ao solo descoberto.

A cor é um dos mais úteis atributos para caracterizar solos e sua determinação constitui importante fonte de informação para a pedologia. Rotineiramente, a cor é determinada no campo pela sua comparação visual com padrões existentes em cartas de

cor (Munsell Soil Color Company, 1975), determina-se o Matiz (comprimento de onda da luz), Valor (brilho ou tonalidade) e Cromo (intensidade ou pureza da cor em relação ao cinza). A cor do solo é função, principalmente, da presença de óxidos de Fe e matéria orgânica, além de outros fatores, tais como: a umidade e a distribuição do tamanho de partículas (FERNANDEZ & SCHULZE, 1992).

Segundo BOTELHO et al. (2006), a matéria orgânica confere cores escuras aos horizontes superficiais e em alguns horizontes subsuperficiais (iluviação). Os autores encontraram em diferentes tipos de solos correlação significativa entre os teores de matéria orgânica e o Valor Munsell, com decréscimo do Valor conforme o incremento da matéria orgânica, concordando com SCHULZE et al. (1993), que encontraram correlações significativas entre o Valor Munsell e a matéria orgânica, não observando correlação entre o Cromo e a matéria orgânica. FERNANDEZ et al. (1988) encontraram tanto para solos secos como para solos úmidos uma estreita relação linear entre o Valor Musell e matéria orgânica.

HOUSKOVA (2005), em sua metodologia para avaliação visual da qualidade do solo, citou que a cor é um bom indicador nas mudanças do índice de matéria orgânica que podem ser causados pelo manejo incorreto. Ainda segundo o autor, todas as mudanças na cor do solo, a um tom mais claro, indicam perda do índice de matéria orgânica causada, por exemplo, pela erosão da camada superficial. Para SCHULZE et al. (1993), a quantificação da relação entre matéria orgânica e cor do solo é necessária para se fazer a máxima utilização de atributos de fácil determinação, tais como a cor.

A qualidade do solo avaliada segundo indicadores químicos é em grande parte fundamentada na porcentagem de matéria orgânica, que é um atributo variável e suscetível às práticas de manejo e fortemente relacionada com os indicadores físicos e biológicos.

As características químicas são intensamente afetadas pela matéria orgânica e, dentre elas, citam-se a disponibilidade de nutrientes para as culturas, a capacidade de troca de cátions e a complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, importantes em solos tropicais, na sua maioria bastante intemperizados e ácidos (BAYER & MIELNICZUK, 1999).

PANKHURST et al. (2002) determinaram importantes alterações nas propriedades químicas de um solo após três anos de implantação do sistema semeadura direta, no qual foram obtidos teores mais elevados de carbono orgânico e de nitrogênio total em relação ao cultivo convencional e cultivo mínimo. Os autores relataram

também, depois de dezessete anos com o sistema semeadura direta, maiores valores de condutividade elétrica, capacidade de troca catiônica, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nítrico e zinco na camada de 0-0,05 m. VALPASSOS et al. (2001) verificaram, na camada de 0-0,10 m, maiores valores de Ca, Mg, CTC e V % em semeadura direta em relação aos outros sistemas de manejo. Os autores justificaram os resultados pela grande influência desse sistema na atividade microbiana e na ciclagem de nutrientes na camada superficial do solo e os menores valores de cálcio e potássio nos outros sistemas pelas perdas por erosão e incorporação dos resíduos.

A partir da definição dos atributos, a qualidade do solo como um importante indicador da sustentabilidade de agroecossistemas tem seu monitoramento feito pelo comportamento desses indicadores ao longo do tempo, ou pela comparação de seus desempenhos com valores de referência. Estes valores podem ser estabelecidos a partir de resultados de pesquisa ou, como descritos anteriormente, obtidos em ecossistemas naturais, localizados nas mesmas condições do solo avaliado (DORAN & PARKIN, 1994; KARLEN et al., 1997).

2.3 Avaliação Visual do Solo (AVS)

Tradicionalmente avaliados por métodos laboratoriais, os atributos físicos do solo como porosidade, densidade, estabilidade de agregados, retenção de água entre outros, além das análises químicas, biológicas e microbiológicas vêm sendo empregados como indicadores nos estudos de sua qualidade. Na literatura atual tem-se grande quantidade de informação acerca dos métodos laboratoriais de análise e é possível descrever, com certo grau de confiabilidade, a definição de valores adequados para essas características (GUEVARA, 2007). Os métodos laboratoriais, ainda que constituam importantes ferramentas para o manejo e sejam bastante precisos, são muitas vezes de difícil utilização por questões de custo e tempo.

A necessidade de diagnóstico rápido e confiável da qualidade do solo permitindo ao extensionista ou produtor rural, em qualquer local, independente da distância de centros de geração tecnológica e/ou conhecimentos, a obtenção de dados que auxiliem na tomada de decisões, conduziu ao desenvolvimento de um *kit*, denominado “Soil Quality Test Kit”, pelo Instituto de Qualidade do Solo do Serviço de Pesquisa Agrícola do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 1998). Este *kit* permite avaliar no campo indicadores como: infiltração de água, respiração do solo, estabilidade

de agregados, densidade do solo, pH e nitrato + nitrito AMADO et al. (2007), utilizando esse *kit* de qualidade do solo, encontraram correlação significativa com os métodos tradicionalmente usados na ciência do solo.

Com base na capacidade de observação dos produtores acerca dos processos de investigação dos agroecossistemas, SHEPHERD (2000) definiu propriedades visuais indicadoras de qualidade do solo e forneceu métodos de avaliação e exposição dos resultados. As propriedades e os critérios descritos por ele foram porosidade, que reflete a capacidade de um solo em realizar trocas gasosas e em absorver e reter água, a estrutura do solo (tipo, tamanho e grau de desenvolvimento), que define a porosidade total de um solo e a distribuição relativa entre macro e microporos, sendo considerada uma importante propriedade do ponto de vista agrícola, juntamente com a cor, a cobertura vegetal e a profundidade do solo.

A avaliação visual fornece resultados de maneira imediata e eficaz e esses são fáceis de interpretar e compreender. Em VISUAL SOIL ASSESSMENT (s.d.), utilizando a técnica da avaliação visual sugerida por SHEPHERD (2000), foi constatado que é possível realizar uma avaliação rápida e confiável dos solos, bem como tomar medidas para corrigir possíveis problemas e melhorar o ambiente.

Em seis áreas pertencentes a dois ecossistemas identificados como N (natural, não degradado – N1, N2, N3) e R (degradado, em recuperação – R1, R2, R3), MENDES et al. (2006) realizaram avaliações visuais do solo quanto à presença de erosão, pedregosidade, macrofauna, índice de cobertura vegetal, diversidade, porte/estratificação, vigor da vegetação, presença de serapilheira, estado de decomposição da serapilheira, incorporação da serapilheira e fauna silvestre. Pôde-se observar uma considerável diferença entre as seis áreas em estudo, onde as três áreas consideradas naturais apresentaram melhores atributos de solo e vegetação que as outras três em recuperação.

GARLYND et al. (1994) e ROMIG et al. (1995) desenvolveram um questionário com um sistema de notas para avaliação preliminar da qualidade do solo no campo, envolvendo os seguintes atributos: presença de minhocas, erosão, estrutura, cor (úmido), compactação e infiltração. Nessa mesma linha, MELLONI (2001) desenvolveu uma planilha de avaliação *in situ* de atributos de solo e vegetação, objetivando o cálculo de um índice de qualidade de solos em áreas de mineração de bauxita em recuperação. As notas variaram de 0 (pior) a 5 (melhor). Foram observadas

grandes variações entre solos recém-minerados e aqueles revegetados, em processo de recuperação.

2.4 Índices de Qualidade

A correta avaliação da qualidade exige métodos sistemáticos para medir e interpretar as contribuições dos atributos do solo que podem ser utilizados como indicadores de qualidade.

Independente do método, visual ou laboratorial, a avaliação da qualidade do solo pode ser de natureza comparativa de sistemas de produção e métodos de análise. Dois pontos importantes devem ser ressaltados na avaliação da qualidade do solo: necessidade de padrões, ou de uma variação admissível entre eles, e de conhecimento dos processos (GUEVARA, 2007). Existem diversas proposições de métodos e modelos para avaliação do índice de qualidade do solo. Em muitos casos não existem faixas de valores que indiquem o grau de qualidade em que se encontra o solo, pela grande variação que existe entre os diferentes tipos de solos e pelas diferentes maneiras como os solos são afetados por uso e manejo. Assim, o maior problema para se avaliar a qualidade do solo é a falta de padrões, tanto para metodologia quanto para limites críticos. SOUZA et al. (2003) notaram dificuldade em definir limites críticos para retenção de água, no estabelecimento de um índice de qualidade do solo para a função de produção vegetal.

Recentemente, dois indicadores de qualidade física do solo foram propostos por REYNOLDS et al. (2002) e DEXTER (2004). De acordo com os primeiros autores, o solo deveria apresentar valores de 0,34 e 0,66, respectivamente, para capacidade de aeração (ACt/Pt) e armazenamento de água (CC/Pt). AC é a capacidade de aeração definida pela quantidade de poros drenados a partir do teor de água na saturação, Pt é a porosidade total do solo e CC é a capacidade de campo na qual o potencial matricial equivale a um terço de atmosfera. Na avaliação de diferentes indicadores os autores não verificaram diferenças consistentes entre sistemas de manejo de solo sobre plantio direto e convencional. DEXTER (2004) propôs o índice S como indicativo da qualidade física do solo com base na curva de retenção de água, a qual expressa a distribuição de tamanho de poros do solo. O valor do índice S corresponde à inclinação da curva de retenção no seu ponto de inflexão; valores do índice S acima de 0,035 são indicativos de boa qualidade física do solo às plantas.

Para definição da qualidade da estrutura do solo, THOMASSON (1978) propôs categorias, considerando a sua capacidade de aeração e o seu conteúdo de água disponível, em condições de clima temperado. Com esse índice, testado por DE MARIA et al. (1997) em ambientes tropicais, classificaram-se como detentores de uma estrutura de boa qualidade, solos com valores de densidade e resistência à penetração mais elevados do que os considerados restritivos ao crescimento radicular, por ROSOLEN et al. (1994).

VISUAL SOIL ASSESSMENT (s.d.) sugere o uso de um índice visual de qualidade do solo que consiste na atribuição visual de um valor 0 (ruim), 1 (moderada), ou 2 (boa), baseado na condição do solo observada ao se comparar a amostra do campo com as fotografias do manual. Alguns atributos ou indicadores são relativamente mais importantes para as condições do solo do que outros, e dessa forma o índice prevê um fator de ponderação 1, 2 ou 3. Os indicadores de qualidade do solo são apresentados em um cartão de pontuação e o solo é classificado pela avaliação individual dos indicadores. Dessa forma a pontuação atribuída a cada atributo é multiplicada pelo fator, e a soma total dos valores de cada atributo fornece o índice visual da amostra que se está avaliando.

2.5 Análise Multivariada

Segundo FIDALSKI et al. (2007) os estudos de qualidade do solo apresentam inúmeras variáveis, as quais são descritas por meio de análises estatísticas univariadas, comprometendo, possivelmente, as interpretações e as conclusões destes, por não ser explorada a existência ou não da dependência entre as variáveis analisadas. A análise multivariada é uma técnica estatística que segundo TABACHNICK & FIDELL (2007) é cada vez mais utilizada para analisar conjuntos complexos de dados. SENA et al. (2002) asseguraram que os pesquisadores da área de solos precisam se aperfeiçoar a respeito de métodos multivariados, os quais, comparados com métodos univariados e bivariados, ampliam a capacidade de extração e interpretação de dados das análises.

A Análise de Componentes Principais é um dos métodos estatísticos mais usados quando se pretende analisar dados multivariados. Segundo NIELSEN & WINDING (2002), a análise de componentes principais é uma técnica que transforma um conjunto grande de variáveis originais em um conjunto menor de variáveis (componentes principais), as quais são combinações lineares dos valores originais,

representando a maior variabilidade do conjunto de dados originais. Essa técnica foi inicialmente proposta por K. PEARSON em 1901 (MORRISON, 1976), e o objetivo é apresentar em uma forma gráfica o máximo de informação contida em uma matriz de dados, com o objetivo de visualizar as proximidades entre os indivíduos e os vínculos entre as variáveis.

Com o objetivo de caracterizar a qualidade do solo a partir de atributos físicos químicos e biológicos em ambientes sob diferentes usos e manejos, RIBEIRO (2007) utilizou a análise de componentes principais (ACP) após seleção de variáveis como: densidade do solo, carbono da biomassa microbiana, teor de carbono total, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio e pH. Os dois primeiros componentes principais conforme seus autovalores explicaram 78,5 % da variância total dos dados. O primeiro componente apresentou maiores correlações com variáveis químicas e o carbono da biomassa microbiana enquanto o segundo componente principal foi influenciado principalmente pela densidade do solo e carbono orgânico total. Entre os ambientes estudados a mata nativa foi separada dos outros ambientes pelo primeiro componente principal apresentando maiores valores para as variáveis químicas em especial o carbônico orgânico total. Quando analisado em ACP somente os atributos químicos, os dois principais componentes descreveram 84 % da variância total dos dados. O ambiente agricultura convencional (AC) destacou-se no primeiro componente principal, com maiores valores de pH, fósforo, magnésio, saturação por bases, cálcio e potássio enquanto a mata nativa destacou-se no segundo componente com maiores valores para alumínio, H+Al e capacidade de troca catiônica. Analisando somente os atributos biológicos, os dois primeiros principais componentes descreveram 90 % da variância total. Nesse caso, a mata nativa separou-se dos demais ambientes estudados por apresentar maior correlação negativa na formação do primeiro componente para carbono da biomassa microbiana e maior correlação positiva para quociente metabólico e respiração basal. Por meio da ACP foi possível diferenciar os ambientes estudados sugerindo que diferentes estratégias de manejo do solo têm efeito sobre as propriedades do mesmo.

Portanto, o uso dessa ferramenta simplifica a interpretação de um grande número de dados e pode ser usada no desenvolvimento de um índice de qualidade do solo, além de distinguir as áreas em função do manejo do solo e determinar quais são os parâmetros mais importantes para caracterizá-las (SENA et al., 2002).

Diante do conteúdo exposto nessa revisão, sugere-se que a avaliação visual de atributos do solo pode constituir um índice de qualidade e a relação deste com índices determinados por métodos laboratoriais, possa validar a metodologia visual como eficiente ferramenta para investigar os efeitos dos sistemas de uso e manejo na qualidade do solo fornecendo uma rápida resposta em avaliações de campo. A rápida avaliação da qualidade do solo é importante estratégia no planejamento agrícola, possibilitando a identificação e o aprimoramento de sistemas de manejo com características de alta produtividade e de preservação ambiental (AMADO et al., 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Centro Experimental Central do Instituto Agronômico, no município de Campinas, SP, coordenadas 22° 54' latitude S e 47° 03' longitude W (Figura 1).



Figura 1 – Localização e coordenadas geográficas da cidade de Campinas, SP.

O solo segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006) é um Latossolo Vermelho Distroférico típico. O clima, de acordo com a classificação climática de Köppen, é do tipo Cwa, com estação quente e úmida entre outubro e março, temperatura média de 23 °C e precipitação anual de 1.060 mm. A

estação seca ocorre de abril a setembro, com temperatura média de 20°C e precipitação de 325 mm (SETZER, 1966).

3.1 Tratamentos

Os tratamentos foram constituídos por oito usos e manejos de solo (Figura 2) com quatro repetições. Os anexos 1, 2, 3, 4, 5 e 6 apresentam os croquis de demarcação das repetições para cada tratamento.

Tratamento 1. Mata nativa (**MT**). A mata está classificada como Floresta Tropical Semidecídua. A área amostrada tem declividade de 5 %.

Tratamento 2. Cultura permanente, Seringueira (**S**). O seringal foi implantado em 1992. O plantio é solteiro e o solo é mantido limpo com capinas e herbicidas: na entrelinha a capina é feita com o uso de roçadeira, enquanto que próximo às plantas é feita aplicação de glyphosato (3 L ha⁻¹). A declividade da área é de 10 %.

Tratamento 3. Cultura anual em sistema plantio direto há vinte anos (**PD20**). A área tem 10 % de declividade e antes da adoção do sistema plantio direto foi mantida em pousio por um período de dez anos (1975-1985). Na implantação do sistema foram realizadas as operações de subsolagem, calagem, aração e gradagem. De 1985 até o presente as culturas utilizadas têm sido soja, milho, mamona, milho-pipoca, sorgo, lablabe em rotação no verão e no outono-inverno é feito o plantio de forrageiras como triticale, aveia-branca ou aveia-preta.

Tratamento 4. Cultura anual em sistema plantio direto implantado há oito anos (**PD8**). A área, constituída por quatro talhões coletores de perdas de terra e água por erosão com 1.875 m² cada e declividade de 6 %, era manejada com sistema convencional de plantio (aração e gradagens). Antes da implantação do Sistema Plantio Direto a área recebeu uma escarificação, duas gradagens pesadas e uma niveladora. A área vem sendo cultivada com sucessão de soja, milho no verão e sorgo, aveia, triticale ou chícharo no outono-inverno. Para controle do mato é feita a aplicação de 3 L de glifosato + 0,75 L ha⁻¹ de 2,4-D e aplicação do herbicida Fusiflex (1,8 L ha⁻¹) em pós-emergência.

Tratamentos 5, 6 e 7. Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, com três doses de lodo de esgoto: **L0** (testemunha), **L1** (10 t ha⁻¹) e **L2** (20 t ha⁻¹). Esse experimento foi implantado em 2001/02, em 12 parcelas com área útil de 100 m² (4 m x 25 m), declive uniforme de 10%. Os talhões são cultivados com milho no verão e

durante o inverno a área fica em pousio. O manejo é manual e o solo é revolvido com o uso de enxada. Após a aplicação, a incorporação do lodo é feita manualmente, também com auxílio de enxada. O mesmo revolvimento é realizado nos talhões que não receberam aplicação de lodo (L0 - testemunha).

Tratamento 8. Cultura anual em sistema convencional de plantio (PC). A área tem declividade de 3 %, e está sob plantio convencional há 15anos anos em sistema de rotação com amendoim (período de uma safra) e algodão (período de três safras consecutivas). No período de inverno fica em pousio. O preparo é feito com uma aração e duas gradagens niveladoras, e o controle do mato é feito com aplicação de Trifuralina ($2,5 \text{ L ha}^{-1}$) e Diuron ($3,5 \text{ L ha}^{-1}$).



Figura 2 - Vista Geral da distribuição das áreas dos oito tratamentos: 1 - Cultura permanente, Seringueira; 2 - Cultura anual em sistema plantio direto há vinte anos; 3 - Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, com três doses de lodo de esgoto: L0 (testemunha), L1 (10 t ha^{-1}) e L2 (20 t ha^{-1}); 4 - Cultura anual em sistema plantio direto implantado há oito anos; 5 - Cultura anual em sistema convencional de plantio; 6 - Mata nativa.

3.2 Ordenação Teórica dos Tratamentos Quanto à Qualidade do Solo

Os tratamentos foram ordenados com base nos pressupostos de manejo para melhorar a qualidade do solo, quais sejam a mínima mobilização, permanente cobertura e elevada adição de resíduos culturais (VEZZANI, 2001; MIELNICZUCK et al., 2003).

Segundo esses conceitos, a ordem hierárquica decrescente de qualidade do solo seria a seguinte: MT > S > PD20 > PD8 > L2 > L1 > L0 > PC.

3.3 Amostragem do Solo

Em julho de 2007, para a realização das análises laboratoriais e avaliações visuais, foram coletadas amostras compostas de 15 subamostras por parcela, retiradas com o auxílio de vanga e enxadão na profundidade de 0-0,20 m e acondicionadas em caixas plásticas. As avaliações visuais dessa amostragem foram realizadas, mas seus resultados não foram levados em consideração, pois se chegou à conclusão de que a avaliação visual realizada em amostras armazenadas não condiz com a real condição do campo, principalmente devido à perda de umidade que naturalmente ocorre entre o tempo de amostragem e a análise.

Uma segunda amostragem foi realizada em maio de 2008, contemplando somente as avaliações visuais com os procedimentos realizados em campo com um único bloco de 0,20 m de lado por parcela, retirado com o auxílio de vanga, pá e enxadão.

As análises laboratoriais foram realizadas somente nas amostras coletadas em julho de 2007 porque, se realizadas em amostras coletadas em 2008, não haveria tempo hábil para sua inclusão neste trabalho.

3.4 Avaliação dos Atributos de Qualidade do Solo

3.4.1 Avaliações Visuais

Para as avaliações visuais foi utilizado o Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo (LEMOS & SANTOS, 2001) e as sugestões de SHEPHERD (2000) e HOUSKOVA (2005), que incluem método fotográfico. Para cada atributo de qualidade foi dada uma contagem visual padrão de 0 (pobre), de 1 (moderado), ou de 2 (bom), baseada na qualidade do solo observada ao comparar a amostra do solo com as três fotografias do guia de campo de SHEPHERD (2000). Uma explicação dos critérios de pontuação acompanha cada conjunto de fotografias.

Em campo a pontuação foi flexível e, portanto, quando a avaliação da amostra não se alinhou claramente com qualquer uma das fotografias, mas se situou entre duas, foi atribuído um valor intermediário, por exemplo, 0,5 ou 1,5. A AVS foi realizada com

o solo na umidade considerada adequada ao cultivo; a avaliação foi feita comprimindo uma amostra de solo em uma das mãos observando-se as marcas dos dedos na massa: se a marca dos dedos ficou bem definida, a umidade foi considerada adequada, se a amostra esfarelou, a umidade foi considerada insuficiente e se as marcas apareceram muito molhadas, então a umidade foi excessiva.

Para os atributos **consistência seca, consistência úmida** e para os atributos **cor seca e cor úmida** avaliadas com a Carta de Munsell, o guia de campo não apresenta sugestão de escala para comparação das amostras e foi necessária a seleção de uma escala mínima de valores considerando tanto o saber científico quanto o saber popular e a experiência do pesquisador. Essa escala representa o nível de limitação para a produção agrícola e foi fundamentada na sugestão de SHEPHERD (2000), conforme descrito mais adiante, para classificação das amostras.

A **textura** (proporção relativa das frações granulométricas que compõem a massa de solo) foi realizada com a finalidade de classificação do solo quanto à granulometria (LEMOS & SANTOS, 1996). Foi avaliada pelo tato: a areia provoca sensação de aspereza, o silte de sedosidade e a argila de pegajosidade ao se esfregar um pouco de solo úmido entre os dedos.

Estrutura e tamanho dos agregados do solo: é a agregação das partículas primárias do solo em unidades estruturais compostas, separadas entre si pelas superfícies de fraqueza. A avaliação foi feita segundo SHEPHERD (2000) utilizando-se um cubo de solo com cerca de 0,20 m de lado. Deixou-se cair a amostra um máximo de três vezes de uma altura de 1 (um) metro em uma bandeja plástica. Se após a primeira queda os torrões grandes não se quebraram, foram submetidos ao mesmo processo por uma vez ou duas vezes mais. Se um torrão se quebrou (em unidades pequenas) após a primeira ou segunda queda, o processo foi encerrado. Nenhuma parte da amostra sofreu mais que três quedas. Os agregados assim obtidos foram transferidos da bandeja para uma superfície plana com fundo branco. Fez-se a seguir a separação manual das frações mais grosseiras para uma extremidade e as mais finas para a outra extremidade, o que forneceu a distribuição e o tamanho dos agregados (Figura 3). Essa distribuição foi então visualmente comparada com as três distribuições-padrão do manual do guia de campo (Anexo 7). Atribuiu-se a contagem visual referenciada em 0 (Solo dominado por torrões grossos, muito firmes com muito poucos agregados finos), 1 (Solo com proporções significativas de ambos os blocos grosseiros e agregados finos) e 2 (Solo com boa distribuição dos agregados mais finos e com quantidades não significativas de

torrões). Amostras que não se encaixaram diretamente em nenhum dos casos receberam valores intermediários.



Figura 3 – Avaliação visual da estrutura. Detalhe da separação das frações mais grosseiras para uma extremidade e mais finas para a outra, fornecendo uma medida da distribuição e tamanho dos agregados.

Consistência: é a manifestação das forças físicas de coesão e adesão entre as partículas do solo, conforme variação dos graus de umidade (LEMOS & SANTOS, 1996). Foi avaliada em dois estados padronizados: seco e úmido.

Para a avaliação da consistência do solo seco (Dureza ou tenacidade) selecionou-se um torrão a fim de tentar quebrá-lo com os dedos, ou, se não for possível, com a(s) mão(s). A consistência do solo seco varia de solta até extremamente dura. Uma amostra de um solo extremamente duro não pode ser quebrada mesmo utilizando ambas as mãos. A consistência do solo úmido foi também determinada a partir de um torrão, mas este ligeiramente úmido (não molhado) que foi umedecido quando necessário borrifando-se água com uma pisseta. Tentou-se romper o torrão úmido com os dedos - ou se necessário com a mão - para verificar a resistência à pressão. Este estado de consistência é conhecido como friabilidade, que pode variar de solta a extremamente firme.

Para a consistência, como descrita anteriormente, não foram encontrados na literatura valores sugeridos para avaliação visual da qualidade do solo, sendo aqui utilizada a padronização para a escala sugerida por SHEPHERD (2000) onde as notas variam de 0 (Pior) a 2 (Melhor). Consistência Extremamente Dura para solo seco e

Extremamente Firme para solo úmido são indesejáveis para a produção agrícola em função da grande resistência à penetração das raízes e maiores dificuldades nas operações de preparo e, portanto, receberam nota 0 (Zero). A ocorrência de Consistência Solta tanto para solo seco como para solo úmido também recebeu nota zero, uma vez que, para a produção agrícola o solo solto reflete menores índices de retenção de água e maior vulnerabilidade à perda de solo por processos erosivos. Consistência Muito Dura para solo seco e Consistência Muito Firme para solo úmido, considerando também os fatores acima mencionados, receberam nota 0,5. Ainda nessa linha, a Consistência Macia em solo seco e a Consistência Muito Friável em solo úmido receberam nota 1 (um), assim como a Consistência Dura para solo seco e Consistência Firme para solo úmido receberam nota 1,5. A melhor avaliação para consistência foi atribuída às Consistências Ligeiramente Dura para solo seco e Consistência Friável para solo úmido, que receberam nota 2 (dois).

A **Porosidade do solo e a Bioporosidade** foram avaliadas utilizando um torrão de tamanho aproximado de 0,15 a 0,20 m (Figura 4). Com a exposição da face onde houve quebra natural de estrutura realizou-se a comparação visual com os padrões fotográficos sugeridos no manual de campo de SHEPHERD (2000), comparando-se a quantidade de poros, a macroporosidade e a distribuição de macro e microporos. Foi ainda observada a presença de galerias e raízes (bioporosidade) e a rugosidade dos torrões. Por comparação com os padrões fotográficos e valores sugeridos no manual de campo, (Anexo 8) a exemplo do realizado para o atributo estrutura, foi atribuída uma contagem de 0 (Solo sem macroporos aparentes, com visível ocorrência de compactação, superfície lisa com poucas rachaduras ou furos e pode ter ângulos acentuados), 1 (Solos com macroporos em quantidade pouco significativa, tanto entre como dentro dos agregados, mostrando pequena compactação) e 2 (Solos com muitos macroporos entre e dentro dos agregados associados a uma boa estrutura do solo). Para amostras que não se alinharam claramente em nenhum desses padrões foram atribuídos valores intermediários.



Figura 4 – Torrão com tamanho aproximado de 0,15 a 0,20 m e exposição da face onde houve quebra natural de estrutura, utilizado na avaliação visual da porosidade e da cor do solo em relação a variação da cor a partir da testemunha (mata).

A avaliação da **cor do solo**, buscando estabelecer o indicador visual de qualidade foi realizada como sugerido por SHEPHERD (2000), baseada na variação da cor do solo em relação à testemunha (mata). Foi utilizado o mesmo torrão para avaliação da porosidade (Figura 4) e comparado com os três padrões fotográficos do manual de campo (Anexo 9). As fotografias ilustram as tendências da cor absoluta do solo e as mudanças da cor do solo. As notas atribuídas foram 0 (A cor do solo é significativamente mais clara em comparação à testemunha), 1 (A cor do solo é mais clara em relação a testemunha, porém não tão acentuada) e 2 (Solo escuro sem diferença significativa para a testemunha). Como já escrito, o método também permite a flexibilidade na análise e a atribuição de valores intermediários.

A cor também foi definida com base na carta de cores da Escala Munsell. Este sistema está baseado na percepção visual, sendo utilizado mundialmente devido a sua fácil e rápida aplicação em trabalhos de campo. Na carta observam-se o Matiz, o Valor e o Cromo. Cores mais claras indicam falta ou perda de matéria orgânica em função de processos de degradação do solo, como, por exemplo, a erosão da camada superficial. Considerou-se que as mudanças da cor do solo, em especial no Valor, dão uma indicação geral dos níveis da matéria orgânica: a matéria orgânica confere cores escuras aos horizontes superficiais e em alguns horizontes subsuperficiais (iluviação).

Como não foram encontradas citações que relacionem a Escala Munsell com variação na qualidade do solo ou teores de matéria orgânica, atribuiu-se uma nota ao Valor, que indica a proporção de preto e branco, e tem relação com as mudanças nos níveis de matéria orgânica. Aos Valores correspondentes a cores mais escuras foram

atribuídas as maiores notas, considerando maior quantidade de matéria orgânica e, portanto, maior qualidade do solo (Tabela 2).

Tabela 2 – Notas atribuídas em relação à variação no Valor da Escala de Munsell.

Valor	Nota
8/	0
7/	0
6/	0.5
5/	1
4/	1.5
3/	1.5
2/	2
1.7/	2

O **número de minhocas** foi estabelecido no mesmo cubo de 0,20 m utilizado para o teste de estrutura e para tanto se realizou a contagem do número de minhocas encontradas em uma busca de 5 minutos. A nota foi atribuída ao número de minhocas encontradas. A nota 2 foi atribuída quando se encontrou mais que 8 (oito) minhocas durante a busca, a nota 1 quando o número de minhocas ficou entre 4 e 8 e quando menos de 4 (quatro) minhocas foram encontradas o valor foi zero.

A **cobertura do solo** foi avaliada visualmente pela presença de cobertura morta e restos de cultura na superfície do solo (Figura 5). Comparando a situação encontrada no campo com as fotografias do manual (Anexo 10) foi possível atribuir os valores 0 (zero) para superfície do solo com ausência de resíduos, 1 (um) para superfície do solo parcialmente coberta por resíduos vegetais e 2 (dois) quando a superfície do solo apresenta-se totalmente coberta por resíduos vegetais.



Figura 5 – Avaliação visual da cobertura do solo. Tratamento plantio direto há vinte anos, PD20 (A). Tratamento plantio convencional, PC (B).

A presença de **camada compactada** influencia negativamente a qualidade do solo, pois dificulta a circulação de água e ar, a demanda de oxigênio no perfil do solo e aumenta a suscetibilidade à erosão pela água de escoamento superficial. A existência de camada compactada foi verificada com a abertura de uma pequena trincheira na profundidade de 0,35 m (Figura 6). Comparando o perfil encontrado com as fotografias do manual de campo, (Anexo 11) e considerando a flexibilidade do método, foi atribuída a nota 0 (Perfil mostrando severa compactação, de muito firme a dura, desenvolvida por influência do preparo superficial; não é visível a presença de macroporos), 1 (Perfil com camada compactada moderadamente desenvolvida, não sendo evidentes as zonas de compactação, mostrando-se mais homogêneo, com fissuras e alguns microporos) e 2 (Perfil friável, com manifestação de porosidade por toda a sua extensão, não sendo possível verificar a influência do manejo causando compactação).



Figura 6 – Avaliação da presença de camada compactada no perfil do solo, verificada pela abertura de trincheira na profundidade de 0,35 m. Tratamento plantio convencional, PC (A). Tratamento seringueira, S (B).

Os atributos **Presença de Mosqueados e Profundidade do Solo** receberam nota 2 para todos os tratamentos face terem sido instalados no mesmo tipo de solo, profundo (>0,60 m), bem drenado e sem a presença de mosqueados.

3.4.2 Análises Laboratoriais

A **porosidade, a densidade do solo e a capacidade de retenção de água** (CAMARGO et al., 1986) foram avaliadas utilizando-se anéis volumétricos de 100 cm³, na profundidade de 0-0,20 m, num total de nove amostras indeformadas por parcela.

Os anéis foram cravados com o auxílio de um suporte metálico (“castelo”) e martelo, na profundidade de 0,10 m (de 0,075 a 0,125 m) e cuidadosamente retirados

sem prejuízos à estrutura do solo em seu interior. Depois da retirada, foi feita a limpeza do anel, removendo-se o excesso de terra das superfícies e cortando-se as raízes, sendo o anel tampado e acondicionado para transporte.

No laboratório, as amostras foram colocadas em recipientes para umedecimento lento (Figura 7A). O processo foi iniciado elevando-se gradativamente o nível da água até que fosse atingida a borda superior do anel, sem, entretanto, cobri-lo. Após a saturação as amostras foram colocadas sobre uma bandeja perfurada para escoamento do excesso de água e pesadas para se obter seu peso saturado. A seguir, as amostras foram levadas ao tanque de tensão e submetidas às tensões de 0,5 kPa, 2 kPa e 6 kPa. Em seguida, foram transferidas para câmaras de Richards (Figura 7B), colocando-se os anéis sobre placas de 300 kPa aplicando-se as tensões desejadas de 10 kPa, 30 kPa e 100 kPa. Após isto, foram transferidas para câmaras de Richards com placas de 1500 kPa para obtenção da umidade a 1500 kPa.

Após atingirem o equilíbrio em cada uma das tensões relacionadas, as amostras foram pesadas. Para cálculo do peso seco os anéis foram levados para secagem em estufa a 110° C por 48 horas.

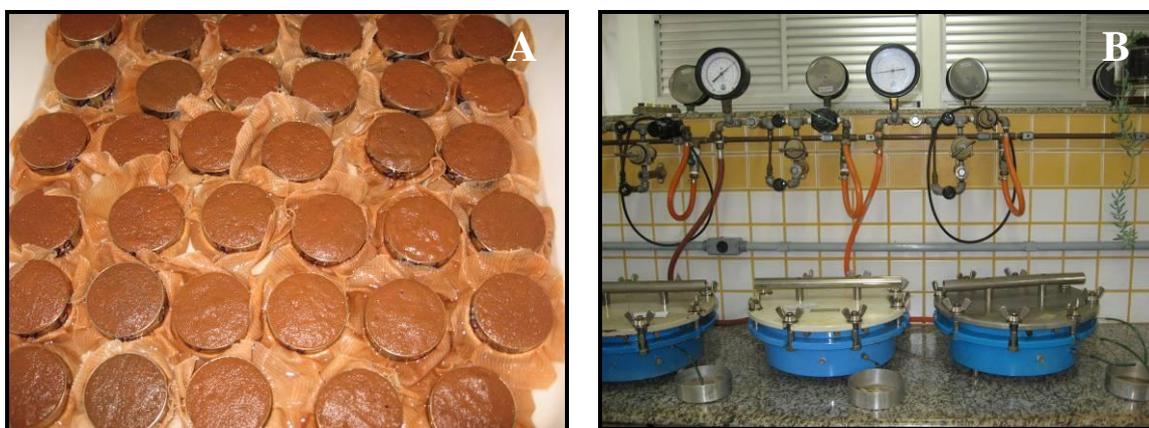


Figura 7 – Saturação das amostras nos anéis volumétricos (A); Câmaras de Richards para determinação da retenção de água nos vários pontos de tensão (B).

A **estabilidade de agregados por via úmida** foi realizada no Laboratório de Física do Solo do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais do Instituto Agrônomo. O método utilizado foi o descrito por KEMPER & CHEPIL (1965), (Figura 8).

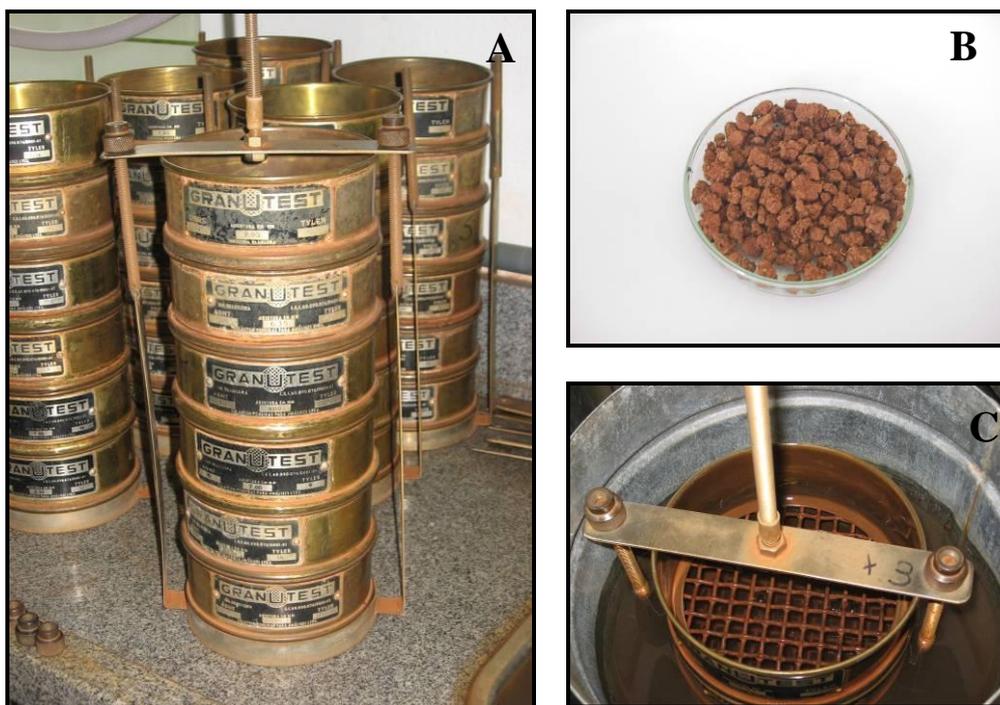


Figura 8 – Determinação da estabilidade de agregados por via úmida. Conjunto de seis peneiras utilizadas no peneiramento (A); Agregados selecionados de tamanho entre 9,52 mm e 4,00 mm (B); Detalhe da peneira superior com diâmetro de 7,93 mm (C).

As amostras foram retiradas do campo com vanga, fazendo-se pequenas trincheiras com profundidade suficiente para a coleta e colocadas em caixas plásticas. As amostras foram secas ao ar e peneiradas durante 10 minutos em um conjunto de três peneiras com abertura de malha de 9,52 mm, 4,00 mm e 2,00 mm. A fração 9,52 – 4,00 mm constitui-se naquela de estudo da estabilidade dos agregados e a fração menor que 2,00 mm, a terra fina seca ao ar (TFSA), foi reservada para a análise granulométrica. A umidade dos agregados foi determinada em amostras com duas repetições. O estado de agregação das amostras de solo foi avaliado pelo diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e pela porcentagem de agregados estáveis em água em cada classe de distribuição, além da porcentagem dos agregados de diâmetro entre 9,52 e 4,00 mm e agregados menores que 2,00 mm. O DMP e o DMG foram expressos mediante as seguintes equações:

$$DMP = \sum_{i=1}^n (x_i * w_i)$$

Em que **w_i** é proporção de cada classe em relação ao total, **x_i** é diâmetro médio das classes de agregados (mm) e **n** é o número de classes de agregados

$$DMG = \exp \left[\frac{\sum_{i=1}^n w_i \log x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right]$$

Em que w_i é a proporção de cada classe em relação ao total, x_i é a massa média dos agregados e n é o número de agregados de classe de agregados.

Quanto à **análise granulométrica**, que consiste na desagregação mecânica da amostra, dispersão e avaliação da proporção relativa das partículas primárias por sedimentação em meio aquoso, usa-se, no Laboratório de Física do Solo do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais do Instituto Agrônomo, o chamado “método da pipeta”. A mistura de hidróxido de sódio com hexametáfosfato de sódio, que vem levando sempre a resultados mais consistentes (CAMARGO et al., 1986) é a utilizada para a dispersão da amostra. Para a desagregação, utilizou-se a preconizada por GROHMANN & RAIJ (1973), consistindo em agitação lenta com agitador rotativo de Wagner a 30 rpm, durante dezesseis horas.

O procedimento consistiu em transferir, para uma garrafa de Stohmann, 10 g da amostra mais 50 ml de solução dispersante a $0,1 \text{ mol L}^{-1}$. A suspensão foi transferida para uma proveta calibrada de 500 ml (0,05 m de diâmetro), passando por uma peneira com malha de 0,053 mm e completando-se o volume com água destilada. Lavou-se o material retido na peneira (areia total) que foi posto para secar a 105°C e pesado. A areia total foi transferida para um conjunto de peneira com abertura de malha de 0,210 mm e fundo e fracionada manualmente em areia grossa (2-0,210 mm) e areia fina (0,210-0,053 mm).

A suspensão de solo foi usada para determinar a argila. O silte foi calculado por diferença. Após completar o volume da proveta a 500 ml, agitou-se a suspensão por trinta segundos com um bastão contendo na extremidade inferior um êmbolo de borracha com diâmetro um pouco menor que o do cilindro, com movimentos de cima para o fundo e vice-versa. Transcorrido o tempo necessário para a sedimentação do silte, de acordo a lei de Stokes, introduziu-se uma pipeta de 10 ml a uma profundidade de 0,05 m para amostragem de argila, com sucção contínua para evitar turbilhonamento. Para essa operação o Laboratório de Física do Solo usa um pipetador automático segundo Koehn. As alíquotas assim obtidas foram transferidas para cápsulas de

porcelana previamente taradas e postas para secar a 105-110°C por um período de oito horas. Esse procedimento foi repetido também com a prova em branco, contendo a solução dispersante e água destilada. Após secagem as cápsulas foram postas para esfriar em dessecador contendo sílica gel. A pesagem foi em balança analítica obtendo-se o peso de argila + dispersante (A+D). Das alíquotas pesadas, subtraiu-se o peso do dispersante (D).

Conforme descrito em CAMARGO et al. (1986), **consistência** vem a ser a manifestação das forças de adesão e coesão na massa do solo em vários teores de umidade. Os limites de consistência expressam a firmeza de uma mistura de água e solo conforme afetada pela quantidade de água. A consistência pode ser determinada em três estados de umidade: molhado, úmido e seco. O limite de liquidez significa o teor de água em que as forças coesivas são tão pequenas que o solo pode fluir sob a aplicação de uma força. O limite de plasticidade corresponde à porcentagem de umidade que limita o estado úmido do molhado. O índice de plasticidade – diferença entre o teor de água no limite de liquidez e no de plasticidade - é uma medida indireta da força mecânica necessária para moldar o solo. Para o preparo preliminar da amostra foram pesados 200 g de amostra seca ao ar que passou por peneira de 0,42 mm de malha, removendo-se todo o material grosseiro. Pulverizou-se com água até formar uma massa coesa que foi deixada ao ar livre por doze horas.

Para a determinação do **limite de liquidez** foi utilizado um aparelho de Casagrande com a concha regulada para uma queda de 0,01 m. Uma amostra de 100 g foi misturada com água destilada para dar consistência à terra. Com um volume de solo na concha acertou-se o nível da superfície com a frente da concha de maneira a formar uma camada de 0,01 m acima do fundo; no contato solo-concha, fez-se então um corte com o bisel do aparelho. Girando a manivela a duas voltas por segundo foi anotado o número de pancadas necessárias para unir o solo no fundo da cuba em uma distância de 0,01 m. A operação foi repetida, remexendo-se o solo no interior da concha e realizando um novo corte. A determinação foi válida quando a diferença no número de pancadas entre a determinação prévia e a repetição não diferiu mais que uma ou duas pancadas, estando entre 12 e 38. Cerca de 10 g do solo que ficou unido pelas pancadas foi pesado em balança analítica; após secagem em estufa a 105-110°C essa amostra teve novamente seu peso determinado para o cálculo da porcentagem de água da amostra. Todos os passos descritos foram novamente realizados para obtenção de nova porcentagem de umidade, e dessa forma obteve-se pelo menos três determinações de

umidade de tal maneira que estivessem distribuídas acima e abaixo de 25 pancadas, número exigido para o limite de liquidez.

Para a obtenção do **limite de plasticidade** retirou-se cerca de 50 g de amostra utilizada para a determinação do limite de liquidez, fez-se uma bola, amassando-a com a mão contra uma placa de vidro. Em uma subamostra de 10 a 15 g, foi formado um bastonete cilíndrico de 3 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento, curvando-o até as pontas se tocarem, sem fragmentação, em seguida foi determinada sua umidade a 105-110°C. Manipulando a amostra restante para que perdesse água, fez-se outro bastonete que, quando curvado como o anterior, apenas se trincou, e foi novamente determinada a umidade. Finalmente, o resto da amostra foi manipulado de tal modo que se conseguiu fazer um bastonete que se rompeu quando trabalhado como os anteriores e teve também sua umidade determinada. O limite de plasticidade foi determinado pela média aritmética das três umidades determinadas.

O **índice de plasticidade** foi determinado pela diferença entre a umidade no limite de liquidez e no limite de plasticidade.

Como indicadores de **fertilidade do solo** foram determinados: a matéria orgânica do solo, o pH, a acidez total (H+Al), o Al trocável (m %) e a CTC efetiva, pelo método direto (RAIJ et al., 2001).

O princípio do método de determinação da **matéria orgânica** do solo foi sua oxidação por solução de dicromato de sódio em ácido sulfúrico a frio, seguida de titulação com sulfato ferroso amoniacal do dicromato (Cr^{6+}) proveniente da reação de oxidação e comparação desses valores com resultados de amostras cujos teores de matéria orgânica foram determinados pelo método de Walkley-Black.

O **pH** foi determinado em solução $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ de CaCl_2 , com emprego de eletrodo. A acidez total (H+Al) foi estimada a partir dos valores de pH de uma suspensão do solo em solução-tampão. Foram avaliados também o Al trocável (m%) e a CTC efetiva pelo método direto.

Para o cálculo da **porcentagem de saturação por bases** foram determinados os teores de Ca, de Mg e de K pela extração com uma resina trocadora de íons. O princípio do método é a transferência de cálcio, do magnésio, do potássio e do fósforo para a resina trocadora de íons, em meio aquoso. A seguir, é feita a separação de resina do solo e a extração dos elementos da resina com solução ácida de cloreto de sódio.

Os **micronutrientes** (Cu, Fe, Mn e Zn) foram extraídos utilizando a solução complexante do DTPA em pH 7,3 e determinados por espectrometria de emissão

atômica por plasma. Extraiu-se o boro em água aquecida em forno de microondas e com uma solução de cloreto de bário $1,25 \text{ g L}^{-1}$. A determinação foi por espectrometria de emissão atômica por plasma.

3.5 Índices de Qualidade do Solo

Foram determinados três índices de qualidade do solo: o índice S de DEXTER (2004), a classificação de THOMASSON (1978) e o indicador de qualidade visual de SHEPHERD (2000).

O **índice S** de DEXTER (2004) funciona como um indicativo da qualidade física do solo com base na curva de retenção de água, a qual expressa a distribuição de tamanho de poros do solo. O valor do índice S corresponde à inclinação da curva de retenção no seu ponto de inflexão. Segundo o autor, valores do índice S acima de 0,035 são indicativos de boa qualidade física do solo para as plantas. Os pontos da curva de retenção da água no solo foram ajustados utilizando-se a equação de van Genuchten (1980), calculando-se os parâmetros m e n (empíricos), umidade residual - θ_{res} e umidade de saturação - θ_{sat} . O ajuste foi feito utilizando o programa desenvolvido por DOURADO et al. (1991). O índice S é determinado a partir desses coeficientes utilizando-se a seguinte equação proposta por DEXTER (2004):

$$S = -n(\theta_{sat} - \theta_{res}) \cdot \left[1 + \frac{1}{m} \right]^{-(1+m)}$$

θ_{res} = umidade residual

θ_{sat} = umidade de saturação

m e n = parâmetros empíricos

O indicador capacidade de aeração - **Car**, que corresponde à macroporosidade, foi definido pela diferença entre a porosidade total e a porosidade correspondente ao volume de água retida na tensão de 6 kPa (microporosidade). Já o indicador água disponível - **Aw** foi calculado pela diferença entre a quantidade de água do solo retida nas tensões de 6 kPa e 1500 kPa. Esses indicadores foram utilizados para a classificação da estrutura em deficiente, regular, boa e muito boa (Figura 9), segundo THOMASSON (1978).

Para a Car, a classe pobre enquadrou valores menores que 5%, a classe moderada, valores entre 5 e 10%, e a classe boa, valores entre 10 e 15%. Quanto à

capacidade de água disponível, valores inferiores a 10 % constituíram a classe pobre, entre 10 e 15 % a classe moderada e entre 15 e 20 %, a classe boa.

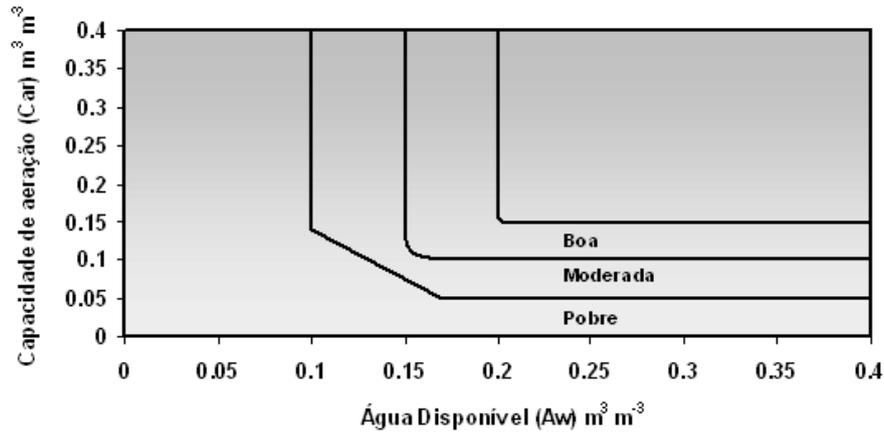


Figura 9 – Modelo da classificação da estrutura do solo com base nos indicadores capacidade de aeração (Car) e água disponível (Aw), segundo THOMASSON (1978).

Para o indicador de **qualidade visual do solo** cada atributo avaliado no campo recebeu uma valoração e procedeu-se à ponderação (peso) em função da sua importância na qualidade do solo segundo SHEPHERD (2000). A soma da classificação visual dos valores obtidos com a ponderação para cada atributo representa o índice indicador da qualidade do solo e classifica o solo em Pobre (para soma menor que 10), Moderado (soma entre 10-25) e Bom (para valores maiores que 25) (Figura 10).

Atributos do Solo	Avaliação Visual		Peso	Classificação Visual
	0 - Pobre	1 - Moderado		
Estrutura do Solo			x 3	
Porosidade do Solo			x 2	
Cor do Solo			x 2	
Mosqueado			x 1	
Contagem de Minhocas			x 2	
Camada Compactada			x 1	
Cobertura do Solo			x 3	
Profundidade do solo			x 2	
Soma da Classificação Visual				

Indicador de Qualidade Visual do Solo	Classificação Visual
Pobre	< 10
Moderado	10-25
Bom	> 25

Figura 10 – Modelo da caderneta de campo, com a ponderação dos pesos de cada atributo utilizado na classificação visual do solo e o indicador visual de qualidade, adaptado de SHEPHERD (2000).

3.6 Análise Estatística

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com oito tratamentos e quatro repetições. Em cada tratamento foram selecionadas aleatoriamente quatro parcelas de 4 m de largura por 25 m de comprimento onde foram coletadas as amostras para as análises. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% utilizando-se o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2000).

Os valores dos indicadores avaliados segundo métodos analíticos de ciência do solo e pela análise visual foram correlacionados entre si por meio de análise de correlação linear simples. Os valores do coeficiente de correlação (r) foram calculados na planilha Excel e o valor limite para significância foi obtido na tabela t de Student, para 30 graus de liberdade (n-2) correspondente às 32 parcelas amostradas (PIMENTEL-GOMES & GARCIA, 2002). Os valores limites dos coeficientes de correlação (r) foram de 0,349, 0,449 e 0,554 para respectivamente 5 %, 1 % e 0,1 % de significância.

Os dados analíticos e visuais foram correlacionados pela análise de componentes principais. Para essa análise utilizou-se o programa computacional Genes (CRUZ, 2001) e os valores utilizados correspondem às médias das quatro repetições de cada tratamento. Nessa análise o primeiro componente principal explica o maior grau de

variabilidade, que vai diminuindo para cada componente à medida que sua ordem aumenta. Foram considerados os três primeiros componentes desde que estes explicassem no mínimo 60% da variação total. Para a obtenção dos atributos que se mostraram mais sensíveis aos manejos utilizados, foram retidas, para discussão, as de maior coeficiente correlacionado a cada um dos três primeiros componentes. Os coeficientes apontam qual o grau de importância de cada atributo em cada componente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos Físicos

4.1.1 Granulometria

As médias dos teores de argila, areia e silte estão mostrados na tabela 3. Pôde-se verificar que o teor de argila foi alto para todas as áreas estudadas, característico de um Latossolo Vermelho Distroférico, ou seja, solo profundo, argiloso, bem drenado, com origem no processo avançado de intemperismo e desenvolvido de basalto (MELFI & PEDRO, 1977, 1978; ALVES & RIBEIRO, 1995). O teor de argila variou de 497 g kg⁻¹ no tratamento MT a 639 g kg⁻¹ para o tratamento S. Os tratamentos S, PD8, PD20 e PC apresentaram os maiores teores de argila (classe textural muito argilosa) e não diferiram entre si. Os demais tratamentos foram todos agrupados na classe textural argila e o tratamento MT diferiu estatisticamente de todos, com o menor valor.

As diferenças observadas nos atributos granulométricos, principalmente no que se refere aos teores de argila, podem ser atribuídas à variação espacial encontrada entre as áreas amostradas. OLIVEIRA et al. (no prelo), realizando levantamento pedológico na mesma área onde estão inseridas as parcelas deste trabalho, analisaram 36 amostras e encontraram valores que variaram de 37 % a 72 % nos teores de argila.

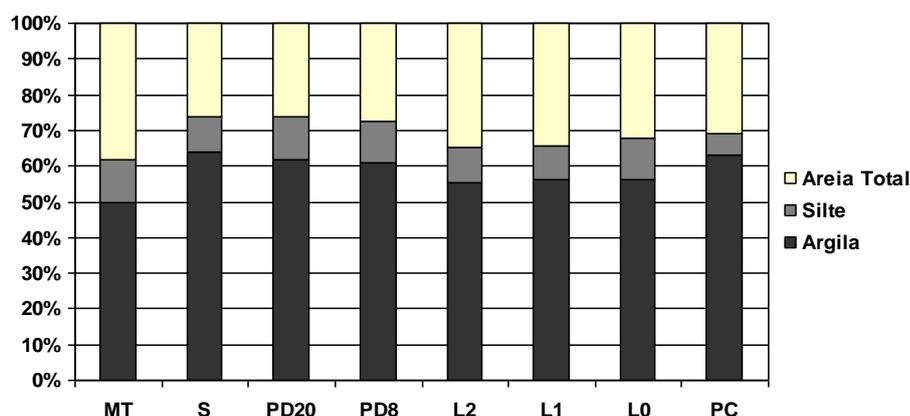
A média geral para silte foi de 103 g kg⁻¹ e de 313 g kg⁻¹ para areia total. A figura 11 ilustra a distribuição média porcentual dos teores de argila, silte e areia nos oito tratamentos.

Tabela 3 – Componentes da distribuição granulométrica do solo (areia, silte e argila), em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico, em Campinas, SP na profundidade de 0 – 0,20 m.

Tratamentos	Argila	Silte	Areia	Classe Textural
	-----g kg ⁻¹ -----			
MT = Mata Nativa	497 a	119 c	384 b	Argila
S = Seringueira	639 c	98 b	263 a	Muito Argiloso
PD20 = Plantio Direto há 20 anos	620 c	118 c	262 a	Muito Argiloso
PD8 = Plantio Direto há 8 anos	608 c	116 c	276 a	Muito Argiloso
L2 = Lodo 20 t ha ⁻¹	554 b	99 b	346 b	Argila
L1 = Lodo 10 t ha ⁻¹	562 b	96 b	342 b	Argila
L0 = Lodo 0 t ha ⁻¹	561 b	119 c	321 b	Argila
PC = Plantio Convencional	632 c	58 a	309 b	Muito Argiloso
Média Geral	584	103	313	
CV (%)	6,38	9,68	11,5	

Médias com as mesmas letras nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 11 – Distribuição das frações argila, silte e areia em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP na profundidade de 0 – 0,20 m.



MT: Mata Nativa; S: Cultura permanente, Seringueira; PD20: Cultura anual em sistema plantio direto há vinte anos; PD8: Cultura anual em sistema plantio direto há oito anos; L2: Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, com 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto; L1: Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, com 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto; L0: Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, sem lodo de esgoto - testemunha; PC: Cultura anual em sistema convencional de plantio.

Embora seja um atributo extremamente relacionado à qualidade do solo, o presente experimento teve como pressuposto que as diferenças observadas não foram relevantes ao ponto de influenciar significativamente os outros atributos analisados, e portanto optou-se por não fazer uso da granulometria na diferenciação dos sistemas de

manejo, considerando, ainda, o fato de que todos os tratamentos foram localizados sobre o mesmo tipo de solo.

De acordo com SOUZA (1992), a textura é uma característica do solo pouco influenciada pelo cultivo. Por não apresentar acentuado gradiente textural o solo estudado não deve apresentar aumento na variabilidade granulométrica por inversão de camadas, quando das operações de preparo do solo. Entretanto, conforme relatado por GOMES & FILIZOLA (2006), a alteração da textura pode ser encontrada quando a erosão acelerada é o processo de degradação predominante, visto que a erosão remove seletivamente a argila, deixando as frações mais grosseiras. Os resultados obtidos indicaram, de maneira geral, baixa suscetibilidade à erosão em todos os tratamentos, devido à alta proporção de partículas argilosas que atuam como uma ligação entre as partículas grandes. Essa indicação é análoga a relatada por BERTONI & LOMBARDI (1999) que indicaram alta suscetibilidade à erosão para solos de textura média. Para os autores, se áreas de solo com textura média forem utilizadas para atividades agrícolas, é necessário a adoção de práticas especiais de manejo visando à sustentabilidade e conservação do solo e recursos hídricos. Segundo COSTA et al. (2003), geralmente as práticas de manejo têm maior impacto sobre as propriedades físicas de solos arenosos do que sobre as dos solos argilosos.

Embora não tenha sido possível distinguir práticas de manejo, alguns atributos do solo são influenciados diretamente pela composição granulométrica e estes podem reagir de maneiras diferentes aos diferentes tipos de manejo.

4.1.2 Estabilidade de agregados

Os resultados da análise de variância do estado de agregação do solo (Tabela 4), avaliada pela quantidade de agregados estáveis em água por classes de tamanho e também pelos índices diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG), permitiram identificar diferenças entre os tratamentos. De maneira geral, houve aumento do DMP e DMG e maior estabilidade de agregados (maior quantidade nas classes de diâmetros maiores) para os tratamentos com menor mobilização do solo, o que se alinhou com a diferenciação proposta pela ordenação teórica de qualidade dos tratamentos, sugerindo que esses resultados apresentam relação com as mudanças no teor de matéria orgânica e com a intensidade de mobilização do solo gerada pelo sistema de manejo.

Observa-se pela tabela 4, a diferença de sensibilidade dos índices DMP e DMG: este último foi menos eficiente em distinguir os tratamentos.

A figura 12 apresenta a visualização da distribuição das porcentagens de agregados para cada classe de diâmetro e dos índices diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) entre os oito tratamentos. Nota-se o aumento dos valores de agregados maiores para os manejos de menor revolvimento e o aumento das porcentagens dos agregados menores para os manejos de maior revolvimento do solo. Em trabalhos conduzidos por ALVARENGA & DAVIDE (1999) e D'ANDRÉA (2001) foram observadas reduções na estabilidade de agregados em sistemas revolvidos, em função das técnicas de manejo e principalmente do tempo de utilização. HARRIS et al. (1996) utilizaram a porcentagem de agregados estáveis (>2 mm) em água para avaliar a qualidade do solo em sistemas de manejo; segundo esses autores os valores foram 40, 26 e 19%, em sistema conservacionista, plantio direto e solo arado respectivamente.

Tabela 4 – Porcentagem de agregados por classe de diâmetro, diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG), em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP na profundidade de 0 - 0,20 m.

Tratamentos	Classe de Agregados (%)									DMP mm	DMG mm
	9,52 - 7,93mm	7,93 - 6,35mm	6,35 - 4,00mm	4,00 - 2,00mm	2,00 - 1,00mm	1,00 - 0,50mm	< 0,50 mm	> 4,00 mm	< 2,00 mm		
MT = Mata Nativa	9,1 b	16,0 c	26,6 c	30,8 b	7,7 a	4,6 a	5,2 a	51,8 b	17,4 a	4,40 c	3,47 b
S = Seringueira	6,9 b	8,7 b	12,4 b	22,0 b	14,3 b	14,7 b	21,0 b	28,0 a	50,1 b	2,90 b	1,85 a
PD20 = Plantio Direto há 20 anos	4,3 b	5,1 b	8,6 b	23,1 b	20,8 d	17,4 b	20,8 b	18,0 a	58,9 b	2,37 b	1,41 a
PD8 = Plantio Direto há 8 anos	0,9 a	1,7 a	4,3 a	15,5 a	22,9 d	23,4 c	31,2 b	6,9 a	77,6 c	1,48 a	0,90 a
L2 = Lodo 20 t ha ⁻¹	0,6 a	4,7 b	9,3 b	27,4 b	18,4 c	14,7 b	24,9 b	14,7 a	57,9 b	2,14 b	1,32 a
L1 = Lodo 10 t ha ⁻¹	0,7 a	2,8 a	8,6 b	26,3 b	18,1 c	15,7 b	27,7 b	12,1 a	61,5 b	1,96 b	1,17 a
L0 = Lodo 0 t ha ⁻¹	2,1 a	4,9 b	11,0 b	30,0 b	17,2 c	13,6 b	21,2 b	18,0 a	52,0 b	2,42 b	1,52 a
PC = Plantio Convencional	0,5 a	1,4 a	4,1 a	13,7 a	14,0 b	19,6 c	46,8 c	6,0 a	80,4 c	1,24 a	0,68 a
Média Geral	3,1	5,7	10,6	23,6	16,7	15,5	24,8	19,4	57,0	2,36	1,54
CV (%)	103,1	49,5	29,4	18,7	15,1	18,8	27,1	42,4	18,2	24,1	30,26

Médias com as mesmas letras nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Para a classe de tamanho de agregados de 9,52 – 7,93 mm a quantidade retida foi significativamente maior nos tratamentos MT, S e PD20, que não diferiram entre si, mas diferiram significativamente dos tratamentos PD8, L0, L1, L2 e PC. Nessa classe de agregados o maior valor foi encontrado para o tratamento MT (9,1), e o menor valor foi associado ao tratamento PC (0,5). É possível afirmar que o preparo a que o solo foi submetido nos tratamentos PC, L0, L1 e L2 e histórico de preparo do solo antes da implantação do sistema plantio direto no caso do tratamento PD8 contribuiu para a redução no diâmetro dos agregados quando comparados com o tratamento MT, onde o solo não é revolvido. Resultado semelhante foi apresentado por SILVA et al. (2000) que encontraram redução na estabilidade de agregados em solo submetido ao cultivo convencional quando comparado ao sistema plantio direto, onde o solo foi pouco revolvido.

Os valores de porcentagem de agregados com tamanho entre 7,93 e 6,35 mm e entre 6,35 e 4,00 mm mostraram diferença significativa no tratamento MT, com maiores valores em relação aos demais. Nesse caso observa-se também a maior concentração nessas classes para os tratamentos onde há menor revolvimento do solo e inferiu-se que o manejo convencional do solo acarretou uma drástica queda na quantidade desses agregados, à semelhança do relatado por FERREIRA (2008).

Os maiores valores foram obtidos na classe de agregados 4,00 – 2,00 mm, indicando que nessas condições os agregados formados são bastante estáveis em água. Houve pouca diferenciação entre os tratamentos, sendo significativa de maneira inferior apenas para PD8 e PC em relação aos demais. Entre os maiores valores destacou-se o tratamento MT com 30,8 % seguido pelo L2 com 27,4 %. Certamente a aplicação do lodo em L2 foi fator importante para esse comportamento. O plantio convencional apresentou o menor valor (13,7 %) também para essa classe de tamanho.

Os agregados entre 2,00 – 1,00 mm mostraram ser o ponto de inversão no comportamento dos diferentes tratamentos. Ao contrário das classes já discutidas onde PC apresentou sempre valores significativamente inferiores principalmente em relação a MT, nota-se que nessa classe de diâmetro diferenças significativas foram observadas com valor superior para PC comparado aos da MT. Os demais tratamentos apresentaram uniformidade na distribuição dessa fração como observado para classe 4,00 – 2,00 mm. A partir desse ponto (2,00 – 1,00 mm) para as classes de menor diâmetro (1,00 – 0,50 mm e < 0,50 mm), o PC apresentou sempre o maior valor com diferença significativa para os demais tratamentos, evidenciando que esse manejo

ocasiona fracionamento dos agregados do solo. CAMPOS et al. (1995) também encontraram maior concentração de agregados estáveis na classe de menor diâmetro (1,00-0,21mm) para o sistema convencional. O tratamento MT apresentou menores valores nessas classes, indicando que nesse sistema os agregados concentram-se nas classes de maior diâmetro, concordando com os resultados apresentados por STONE & SILVEIRA (2004), que encontraram aumento da presença de agregados maiores que 2,00 mm em sistemas onde não é feito revolvimento do solo.

WENDLING et al. (2005) citado por FERREIRA (2008) concluíram, entre diferentes manejos, que o cultivo do solo reduz a estabilidade de agregados em água quando comparado aos valores anteriores ao desmatamento e que o plantio direto aumenta os índices de agregação em relação ao preparo convencional, mas diminui em relação a mata nativa.

O maior valor de diâmetro médio ponderado foi observado em MT (4,40 mm) e diferiu significativamente dos demais tratamentos. Já PC apresentou o menor valor (1,23 mm) e também diferiu dos demais tratamentos à exceção de PD8. Os demais tratamentos (S, PD20, L0, L1 e L2) não diferiram significativamente entre si e, portanto, percebeu-se uma melhor estabilidade dos agregados destes em relação ao preparo convencional trafegado por máquina.

Os valores do diâmetro médio geométrico apresentaram uma variação de 3,47 a 0,68 mm. Com exceção de MT, que apresentou o maior valor e diferiu estatisticamente, os demais tratamentos não apresentaram diferenças significativas, mostrando porém a mesma tendência de comportamento da classe de agregados maiores que 2 mm, indicando, conforme ALVARENGA et al. (1986) e CASTRO FILHO et al. (1998), que esta classe pode ser utilizada para expressar a agregação do solo. O cultivo convencional apresentou o menor valor de diâmetro médio geométrico e esse resultado pode ser atribuído aos seus teores reduzidos de matéria orgânica e ao preparo do solo (SILVA et al., 2000).

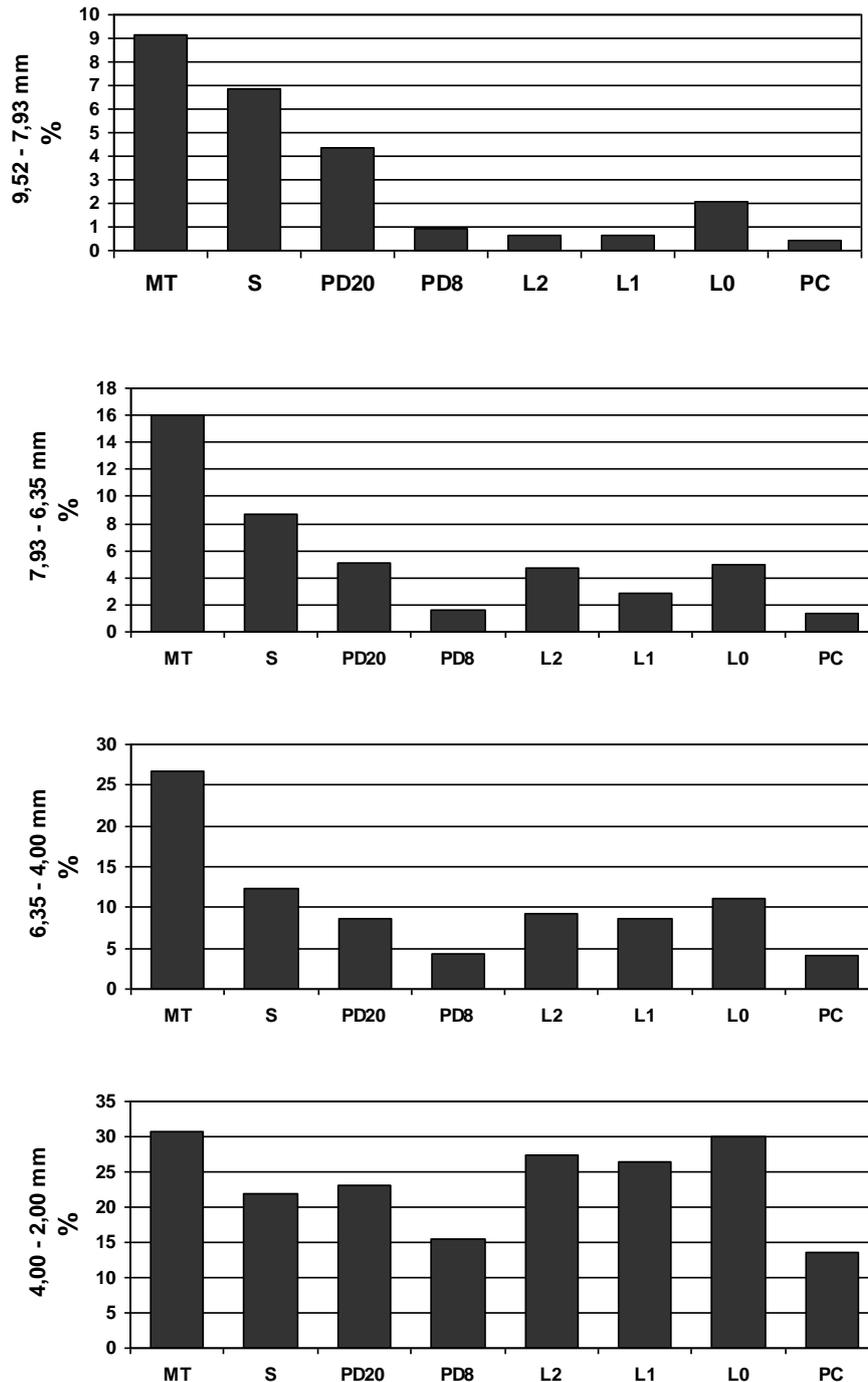


Figura 12 A – Distribuição dos agregados nas classes de tamanho 9,52-7,93 mm, 7,93-6,35 mm, 6,35-4,00 mm e 4,00-2,00 mm em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP na profundidade de 0 – 0,20 m.

MT: Mata Nativa; **S:** Cultura permanente, Seringueira; **PD20:** Cultura anual em sistema plantio direto há vinte anos; **PD8:** Cultura anual em sistema plantio direto há oito anos; **L2:** Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, com 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto; **L1:** Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, com 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto; **L0:** Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, sem aplicação de lodo de esgoto - testemunha; **PC:** Cultura anual em sistema convencional de plantio.

Continua...

Continuação...

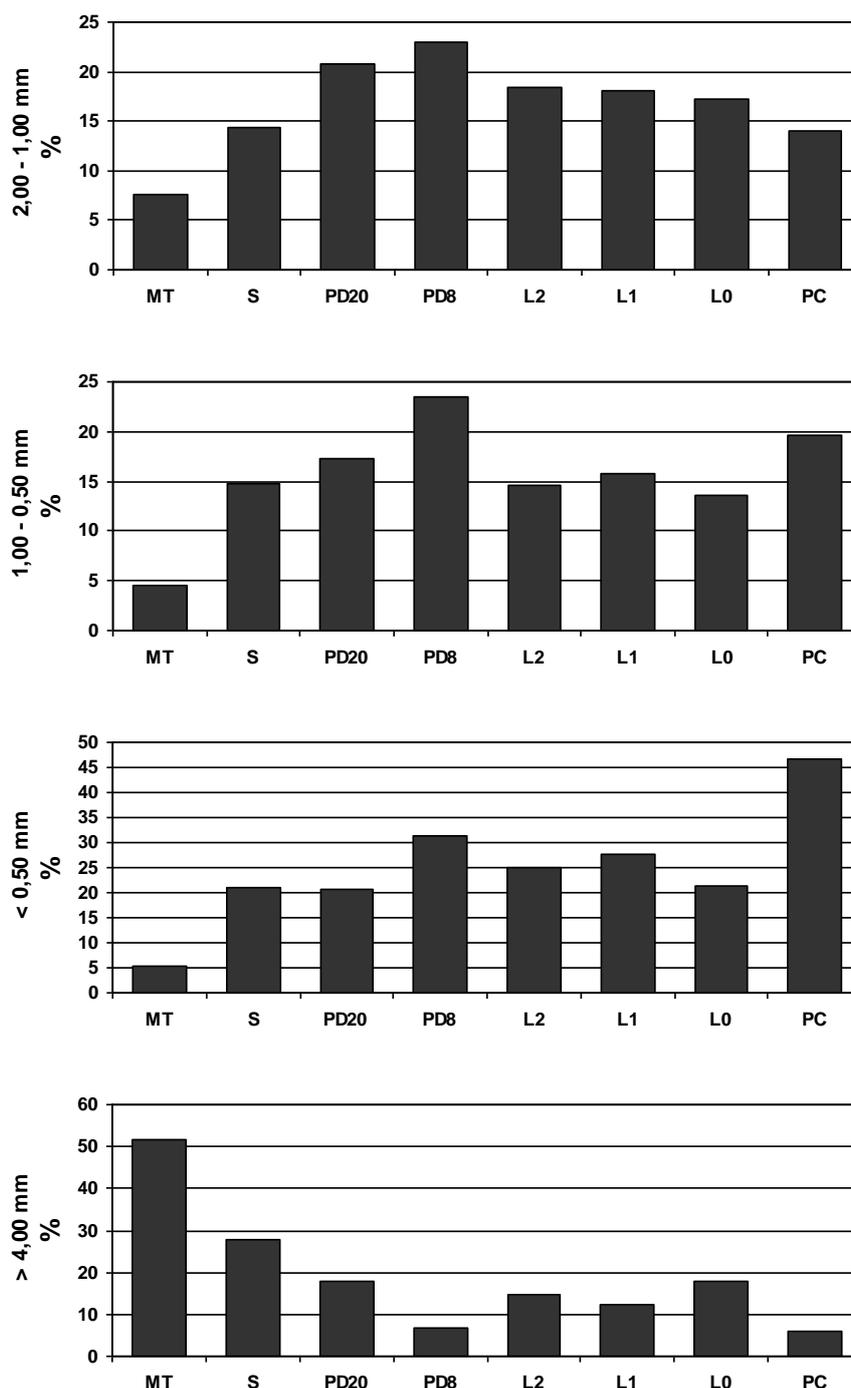


Figura 12 B – Distribuição dos agregados nas classes de tamanho 2,00-1,00 mm, 1,00-0,50 mm, < 0,50 mm e > 4 mm em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP na profundidade de 0 – 0,20 m.

MT: Mata Nativa; **S:** Cultura permanente, Seringueira; **PD20:** Cultura anual em sistema plantio direto há vinte anos; **PD8:** Cultura anual em sistema plantio direto há oito anos; **L2:** Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, com 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto; **L1:** Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, com 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto; **L0:** Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, sem aplicação de lodo de esgoto - testemunha; **PC:** Cultura anual em sistema convencional de plantio.

Continua...

Conclusão

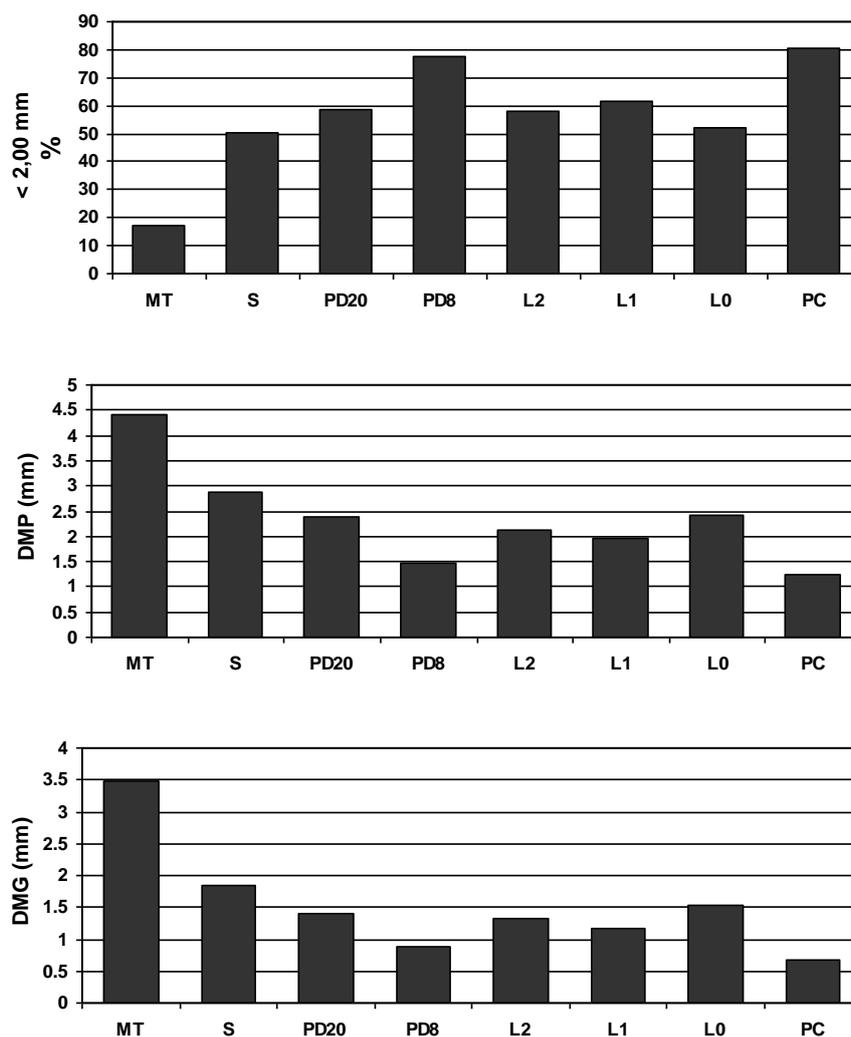


Figura 12 C – Distribuição dos agregados na classe de tamanho < 2,00 mm, diâmetro médio ponderado e diâmetro médio geométrico em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP na profundidade de 0 – 0,20 m.

MT: Mata Nativa; **S:** Cultura permanente, Seringueira; **PD20:** Cultura anual em sistema plantio direto há vinte anos; **PD8:** Cultura anual em sistema plantio direto há oito anos; **L2:** Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, com 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto; **L1:** Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, com 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto; **L0:** Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, sem aplicação de lodo de esgoto - testemunha; **PC:** Cultura anual em sistema convencional de plantio.

4.1.3 Porosidade, densidade do solo e água disponível

Os resultados para porosidade, densidade do solo e água disponível do solo estão apresentados na tabela 5.

Tabela 5 – Porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo e água disponível, em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP, na profundidade de 0-0,20 m.

Tratamentos	PT	Macroporosidade	Microporosidade	Ds	AD ₁₀	AD ₃₀
		-----m ³ m ⁻³ -----		Mg m ⁻³	-----m ³ m ⁻³ -----	
MT = Mata Nativa	0,66 d	0,33 d	0,33 a	0,90 a	0,06 a	0,03 a
S = Seringueira	0,56 b	0,15 a	0,40 c	1,18 c	0,11 b	0,05 b
PD20 = Plantio Direto há 20 anos	0,58 b	0,16 a	0,41 c	1,22 d	0,10 b	0,05 b
PD8 = Plantio Direto há 8 anos	0,55 a	0,13 a	0,41 c	1,29 d	0,09 b	0,05 b
L2 = Lodo 20 t ha ⁻¹	0,61 c	0,27 c	0,33 a	1,02 b	0,06 a	0,04 a
L1 = Lodo 10 t ha ⁻¹	0,60 c	0,23 b	0,36 b	1,15 c	0,06 a	0,04 a
L0 = Lodo 0 t ha ⁻¹	0,61 c	0,25 b	0,35 b	1,13 c	0,05 a	0,03 a
PC = Plantio Convencional	0,55 a	0,13 a	0,41 c	1,25 d	0,10 b	0,05 b
Média Geral	0,59	0,21	0,38	1,14	0,08	0,04
CV (%)	2,6	8,09	2,21	3,75	14,8	16,15

Médias com as mesmas letras nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

AD₁₀ - água disponível definida pela diferença entre a capacidade de campo (CC) a 10 kPa e o ponto de murcha permanente (PMP) a 1500 kPa; AD₃₀ - água disponível definida pela diferença entre a capacidade de campo (CC) a 30 kPa e o ponto de murcha permanente (PMP) a 1500 kPa.

Os valores de porosidade para todos os manejos estão dentro do limite inferior estabelecido para o solo agrícola ideal como relatado por KIEHL (1979) e AZEVEDO & DALMOLIN (2006), que é de 0,50 m³ m⁻³. A porosidade total foi maior no tratamento MT (0,66 m³ m⁻³) enquanto o menor valor foi verificado para os tratamentos PD8 e PC (0,55 m³ m⁻³). O mais baixo valor no volume total de poros observado no sistema PC deve-se ao fato deste ser um sistema exigente em preparo, o que levou à pulverização do solo durante os tratos culturais e colheita. Essa mobilização do solo favoreceu o arrançamento das partículas do solo, tanto de forma natural quanto por tráfego de máquinas durante a realização dos tratos culturais, explicando sua igualdade de volume de poros com o tratamento PD8 que foi intensamente manejado antes da implantação do sistema plantio direto. STONE & SILVEIRA (2001) observaram a mesma tendência em sistemas convencionais de manejo intensamente revolvidos.

Dados da literatura como os apresentados por ARGENTON et al. (2005) e BERTOL et al. (2004) demonstram que o sistema plantio direto apresenta menor porosidade na camada superficial em relação ao sistema convencional de preparo do solo. Contrariando resultados encontrados na literatura não foi observada diferença no volume total de poros entre PC e o manejo conservacionista PD8. Resultados concordantes foram encontrados por ALBUQUERQUE et al. (1995) que, ao avaliarem

os sistemas de manejo plantio direto e convencional com rotações de culturas após sete anos contínuos, em Latossolo Vermelho Escuro distrófico, não encontraram diferença significativa na densidade, porosidade total, macro e microporosidade. No entanto, observando os valores de porosidade total para PD20 verifica-se que esse tratamento apresentou maior valor que PC podendo sugerir que o sistema plantio direto após longo período de estabilidade tende a uma estrutura melhor que a do convencional.

Como observado para porosidade total, a macroporosidade, também apresentou diferenças entre os tratamentos. O maior valor foi obtido no tratamento MT, ($0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) que diferiu significativamente dos demais. Os tratamentos PC, PD8, S e PD20 não diferiram estatisticamente entre si e apresentaram os menores valores para macroporosidade: $0,13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, $0,13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,16 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ respectivamente. Ainda que os valores de macroporosidade tenham ficado sempre acima de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, mínimo adequado para as trocas líquidas e gasosas entre o ambiente externo e o solo e para o crescimento das raízes na maioria das culturas (ARGENTON et al., 2005; COSTA et al., 2003), foi possível verificar a influência do tráfego de máquinas desses sistema de manejo na macroporosidade.

Contrariamente ao constatado para macroporosidade as diferenças observadas para microporosidade mostraram maiores valores nos tratamentos PC, PD8, S e PD20 que diferiram significativamente dos tratamentos que não são manejados por máquinas: MT, L0, L1 e L2. O manejo do solo, particularmente os efeitos resultantes da movimentação de máquinas e implementos agrícolas foi responsável pelo aumento da microporosidade assim como relatado por BERTOL et al. (2001), que descreveram que o solo submetido ao cultivo perde a estrutura original pelo fracionamento dos agregados em unidades menores, com conseqüente redução no volume de macroporos e aumentos no volume de microporos e na densidade do solo.

Nos dados de densidade do solo (Tabela 5) observam-se diferenças significativas entre os tratamentos, e o menor valor de densidade ($0,90 \text{ Mg m}^{-3}$) foi encontrado para MT; já para os demais tratamentos foram observados valores de densidade do solo estatisticamente superiores. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por ISLAM & WEIL (2000), que constataram um valor médio da Ds significativamente maior em área cultivada comparada com solo sob floresta natural. Os maiores valores foram observados para os tratamentos PD8, PD20 e PC que apresentaram $1,22 \text{ Mg m}^{-3}$, $1,29 \text{ Mg m}^{-3}$ e $1,25 \text{ Mg m}^{-3}$ respectivamente e não diferiram estatisticamente para densidade do solo. Nos sistemas PD20 e PD8 o aumento da

densidade do solo pode ser explicado tanto pela acomodação das partículas do solo após a sua implantação como pelo tráfego de máquinas pesadas nas operações de plantio e colheita (TORMENA et al., 1998; SILVA et al., 2000). Já para PC esse comportamento pôde ser explicado pela desagregação intensiva com sucessivo empacotamento das partículas do solo, decorrente do intenso uso de máquinas e implementos agrícolas, muitas vezes sob condições inadequadas de umidade (SILVA et al., 2005). Essa prática, segundo DIAS JÚNIOR & PIERCE (1996), leva à degradação estrutural do solo e, conseqüentemente, ao aumento de densidade.

Mesmo sendo observada similaridade estatística entre os sistemas plantio direto e convencional, resalte-se que o sistema plantio direto (PD8 e PD20) apresenta maior resistência ao aumento da densidade provocada pelo tráfego de equipamentos, dado características como formação da palhada e aumento do teor de matéria orgânica que elevam a capacidade de suporte de carga do solo e, portanto, podem ser considerados como detentores de melhor estrutura física, conforme discutido por SILVA et al. (2005).

Os maiores valores de água disponível foram verificados nos tratamentos S, PD20, PD8 e PC que não diferiram significativamente entre si, mas apresentaram diferença significativa para os demais tratamentos que, conjuntamente, apresentaram menores valores. Para todos os tratamentos os valores de água disponível ficaram abaixo da considerada adequada para as culturas que, segundo ALBUQUERQUE et al. (2005) está entre 0,15 e 0,25 m³ m⁻³. Em relação aos tratamentos S, PD20 e PD8, os valores de água disponível devem-se provavelmente aos teores de matéria orgânica fornecidos pelos resíduos culturais (CARVALHO et al., 1999) e pela menor evaporação da água devido à cobertura mais eficiente do solo (COSTA et al., 2003). Associado a isso o aumento na densidade do solo, e conseqüente aumento na retenção de água, explica porque esses tratamentos obtiveram maiores valores em relação, por exemplo, à MT, já que esse também apresenta altos teores de matéria orgânica e alta taxa de cobertura do solo. O valor da densidade pode também ser a explicação para a água disponível encontrada em PC, concordando com SWAN et al. (1987) que afirmaram que um nível de compactação intermediária é benéfico para a produção das culturas, por aumentar a disponibilidade de água às plantas. Deve-se ressaltar que a densidade observada em PC e que refletiu em maior disponibilidade de água, pode ser um estado momentâneo gerado pelas operações de preparo, e que como discutido anteriormente, pode tender rapidamente a um estado de compactação e limitar o desenvolvimento das plantas.

Os resultados mostraram que pequeno incremento na densidade do solo em relação às condições naturais pode significar melhorias quanto à disponibilidade de água para as plantas, classificando assim o solo dos tratamentos S, PD20 e PD8 como de melhor qualidade para a produção agrícola.

4.1.4 Consistência

Os valores para os limites de liquidez e de plasticidade e o índice de plasticidade do solo estão apresentados na tabela 6. A diferença para os limites de liquidez foi significativa e superior apenas para os tratamentos S, PD20 e PD8. Para esses tratamentos foram encontrados os maiores valores de liquidez corroborando sua classificação textural muito argilosa (Tabela 3). SOUZA et al. (2000) encontraram diferenças significativas para os limites de liquidez em diferentes tipos de solos, sendo que o solo com textura muito argilosa apresentou maiores limites de liquidez, independente do método de análise. Observa-se que o tratamento PC, embora instalado em classe textural muito argilosa, mostrou resultados para limite de liquidez semelhantes àqueles dos tratamentos em classe textural argilosa, indicando a influência do intenso revolvimento do solo pelas operações de preparo. KLEIN & LIBARDI (2001) não apresentaram análise estatística dos limites de liquidez, mas afirmaram, pela grande variação encontrada, que ocorrem alterações neste limite em função do manejo.

O limite de plasticidade das médias comparadas pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos com média geral de $0,34 \text{ g g}^{-1}$ e coeficiente de variação de 5,3 %.

O índice de plasticidade seguiu o mesmo comportamento dos limites de liquidez e apesar do alto coeficiente de variação (73,5 %) permitiu a diferenciação dos tratamentos PD20 e PD8 com maiores valores em relação aos demais, indicando, a exemplo do relatado por KLEIN & LIBARDI (2001), que efetivamente o manejo altera a consistência do solo.

Tabela 6 – Valores médios para os limites de liquidez, plasticidade e o índice de plasticidade em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférrico, em Campinas, SP na profundidade de 0 – 0,20 m.

Tratamentos	Consistência		
	Liquidez	Plasticidade	Índice de Plasticidade
	-----g g ⁻¹ -----		
MT	0,38 a	0,34 a	0,04 a
S	0,40 b	0,36 a	0,04 a
PD20	0,41 b	0,33 a	0,08 b
PD8	0,45 b	0,35 a	0,10 b
L2	0,34 a	0,32 a	0,02 a
L1	0,37 a	0,34 a	0,03 a
L0	0,36 a	0,33 a	0,03 a
PC	0,34 a	0,31 a	0,03 a
Média Geral	0,38	0,34	0,04
CV (%)	10,17	5,28	73,5

Médias com as mesmas letras nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

4.2 Atributos químicos

Os resultados da análise de fertilidade do solo segundo os tratamentos estão apresentados na tabela 7. A matéria orgânica, dentre os atributos analisados, mostrou diferenças significativas entre os tratamentos. O teor de matéria orgânica foi maior para o tratamento MT em relação aos demais, seguido de L2 que teve acréscimo pela aplicação de lodo e PD20 evidenciando a eficiência do sistema plantio direto no acúmulo de matéria orgânica. O mesmo comportamento foi observado para o tratamento S que não diferiu de L2 e PD20 por se tratar de um sistema com baixa mobilização com conseqüente acúmulo de matéria orgânica. Esses resultados são explicados principalmente pela ausência de revolvimento do solo nesses tratamentos, permitindo a manutenção e a acumulação de resíduos vegetais na superfície, concordando com dados de BAYER & MIELNICZUK (1997) que explicam também os menores valores encontrados nos tratamentos L0 e PC onde, pelo revolvimento do solo realizado nesses sistemas de manejo, os resíduos vegetais são incorporados com conseqüente aceleração de sua decomposição. Sistemas de manejo conservacionistas, como o plantio direto, aumentam o aporte de matéria orgânica do solo, por manter os

resíduos vegetais das culturas anteriores. Em contrapartida, sistemas de manejo que envolvem intenso revolvimento do solo como os de plantio convencional, reduzem o conteúdo de matéria orgânica.

Os valores de pH apresentaram baixo coeficiente de variação e foi possível destacar que o tratamento L2 apresentou o menor valor, demonstrando um efeito negativo da aplicação do lodo. Segundo o manual do KQS (USDA-ARS, 1998) citado por AMADO et al. (2007), o pH ideal situa-se na faixa de 5,5 a 7,0. O valor superior dessa faixa provavelmente está ajustado aos solos alcalinos de clima temperado. Segundo os autores, em condições de solos intemperizados e naturalmente ácidos como os investigados neste trabalho, valores de pH acima de 6,5 podem ser indesejáveis devido ao elevado investimento no corretivo, menor disponibilidade de alguns micronutrientes, decréscimo na estabilidade de agregados, alteração na composição da biota do solo, redução no teor de matéria orgânica e decréscimo no rendimento das principais culturas de grãos.

Dentre as áreas avaliadas podem-se destacar o solo dos tratamentos MT (pH 6,2), e L0 (pH 5,6) por serem os únicos a apresentar pH equivalente ao intervalo considerado ideal. Segundo LOPES & GUILHERME (1992), pH na faixa de 5,6 pode classificar o solo como de acidez fraca e neste pH a disponibilidade do alumínio não ocorre, o que explica a elevada saturação por bases (V %) no solo do tratamento L0 (72,3 %).

A saturação por bases é um parâmetro utilizado para classificar solos considerados férteis (V % > 50), dessa forma merecem destaque os tratamentos MT (V % 87,5), L0 (V % 72,0), PD8 (V % 70,0) e PD20 (V % 56,0). De acordo com RAIJ et al. (1996), os tratamentos MT e L0, com saturação por base entre 71 e 90 %, podem ser classificados com nível de fertilidade alta. Essa classificação deve-se ao fato da saturação por bases estar relacionada com o pH dos solos, aumentando a medida que esse aumenta. Valores de pH inferiores ao considerado ideal e os níveis elevados de H+Al, explicam a baixa fertilidade observada nos tratamentos S, L2, L1 e PC.

Os menores valores de CTC foram encontrados nos tratamentos PC e L0 sendo possível, segundo BAYER et al. (2003), relacionar com os baixos teores de matéria orgânica encontrados nesses tratamentos; os autores concluíram que mais da metade da CTC de Latossolos subtropicais é proveniente da fração orgânica. Entretanto, em L0 os baixos valores de CTC, não afetaram a fertilidade demonstrando que nesse tratamento grande parte do complexo de cargas passíveis de troca está ocupado por bases, (Ca, Mg,

K) evidenciado pelo altos teores desses nutrientes. Os tratamentos L1, L2 e S apresentaram altos valores de CTC, porém baixa fertilidade (V %), explicada por níveis elevados de H+Al.

A análise de variância para fósforo apresentou elevado coeficiente de variação (43,9 %) e de maneira geral foram observados maiores valores nos teores de fósforo para todos os tratamentos em relação à testemunha (MT). Para MT o valor foi de 20,8 g dm⁻³ enquanto para os demais tratamentos o teor variou de 40,8 g dm⁻³ para PC a 150,0 g dm⁻³ para o tratamento L2. As variações nos valores de fósforo estão relacionadas com o uso de adubações fosfatadas durante as safras da produção agrícola e somado a isso a baixa mobilidade desse elemento no solo. Segundo MENDES et al. (2003) há uma concentração maior de adubo fosfatado na camada superficial do solo em sistemas de semeadura direta devido ao menor revolvimento do solo, o que explica os teores de fósforo encontrados nos tratamentos PD20 e PD8 e S. Os maiores valores ocorreram nos tratamentos com aplicação de lodo de esgoto, principalmente para L2, o que é justificável pelo alto teor desse nutriente nesse tipo de resíduo.

A adubação realizada no decorrer das safras agrícolas também explica os maiores valores de potássio, cálcio e magnésio no solo dos tratamentos PD20 e PD8. Outro fator de destaque está nos teores de cálcio (125,0 mmol_c dm⁻³) e magnésio (20,5 mmol_c dm⁻³) encontrados no tratamento MT considerados bastante elevados. Estes valores encontrados podem estar associados à matéria orgânica. CARVALHO (2005) encontrou valores de 101,9 mmol_c dm⁻³ para Ca e 25,3 mmol_c dm⁻³ para Mg em solo de mata natural e explicou esses valores pela associação desses elementos com os colóides orgânicos e inorgânicos que segundo o autor adsorvem Ca e Mg, retendo-os de forma trocável, evitando perdas por lixiviação.

Observando os valores máximos e mínimos dos micronutrientes entre os tratamentos são evidentes os efeitos da aplicação de lodo de esgoto ao solo. Para boro, cobre e ferro o tratamento L2 apresentou os maiores valores. Já para zinco, tanto o tratamento L2 quanto o L1 apresentaram valores maiores com diferenças significativas para os demais tratamentos. O aumento nos teores de micronutrientes proporcionado pela aplicação de lodo pode ser um fator que explique esses valores. PIGOZZO et al. (2008) concluíram que houve aumento dos teores disponíveis de Ferro, Cobre e Zinco no solo devido ao uso de doses de lodo de esgoto. Ainda segundo os autores, os teores de Fe, Mn, Cu e Zn encontrados nas plantas de milho foram diretamente proporcionais às doses de lodo de esgoto aplicado no solo.

Os altos teores de Mn observados nos tratamentos PD20 e PD8 podem estar associados à manutenção de umidade no solo desses tratamentos. Segundo OLIVEIRA et al. (1999) o manganês é encontrado no solo em mais de uma valência sendo que as valências reduzidas são estimuladas por condições de tensão de oxigênio e níveis relativamente elevados de umidade. BINGHAM et al. (1976) e BINGHAM (1985) mostraram que sob condições redutoras a solubilidade do manganês aumenta. Assim em PD20 e PD8 o Mn estaria em formas mais solúveis, explicando a maior recuperação pela análise química. CASTRO et al. (1992) relacionaram o maior teor de manganês encontrado em solo sob plantio direto à maior preservação da umidade nesse sistema de cultivo.

Tabela 7 – Atributos químicos da fertilidade do solo em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP na profundidade de 0–0,20 m.

Tratamentos	MO	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Soma Bases	V%	CTC	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g dm ⁻³		g dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³					mmol _c dm ⁻³		g dm ⁻³				
MT = Mata Nativa	77,3 c	6,2 f	20,8 a	3,2 b	125,0 c	20,5 b	20,5 a	148,7 d	87,5 e	169,2 d	0,4 c	3,8 a	25,5 a	26,6 b	6,3 a
S = Seringueira	41,0 b	4,5 b	84,5 b	2,2 a	27,0 a	7,5 a	66,5 e	36,7 a	35,8 b	103,1 b	0,3 b	7,6 c	18,0 a	18,3 a	1,7 a
PD20 = Plantio Direto há 20 anos	41,5 b	4,9 c	62,5 a	6,4 d	39,5 b	9,5 a	43,5 c	55,4 b	56,0 c	99,0 b	0,4 c	9,1 c	21,0 a	46,6 c	3,2 a
PD8 = Plantio Direto há 8 anos	34,3 a	5,3 d	106,0 b	5,4 c	49,3 b	25,0 b	32,8 b	79,7 c	70,0 d	112,3 b	0,3 b	8,5 c	18,3 a	39,0 c	4,2 a
L2 = Lodo 20 t ha ⁻¹	45,5 b	4,0 a	150,0 b	2,4 a	17,3 a	4,5 a	112,0 f	24,2 a	17,8 a	136,3 c	0,5 d	24,1 e	116,5 c	35,9 c	38,3 b
L1 = Lodo 10 t ha ⁻¹	36,3 a	4,6 b	107,3 b	3,5 b	27,8 a	8,8 a	58,3 d	40,0 a	41,0 b	98,5 b	0,4 c	16,5 d	90,3 b	40,1 c	33,9 b
L0 = Lodo 0 t ha ⁻¹	28,0 a	5,6 e	56,0 a	3,8 b	41,0 b	19,0 b	25,8 a	63,8 b	72,3 d	88,2 a	0,2 a	6,1 b	13,5 a	28,4 b	3,1 a
PC = Plantio Convencional	31,5 a	4,5 b	40,8 a	2,4 a	19,5 a	8,3 a	55,3 d	30,2 a	34,8 b	85,6 a	0,3 b	5,6 b	16,3 a	19,0 a	1,9 a
Média Geral	41,9	4,9	78,5	3,7	43,3	12,9	51,8	59,8	51,9	111,6	0,4	10,2	39,9	31,7	11,6
CV (%)	11,7	3,2	43,8	12,3	19,0	30,9	11,0	20,4	11,3	10,1	15,4	11,9	23,3	17,4	34,0

Médias com as mesmas letras nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

4.3. Avaliações Visuais

A avaliação visual do solo para os atributos considerados apresentou comportamento variável pela análise de variância: enquanto uns apresentaram diferenças significativas entre os diferentes usos, outros não possibilitaram diferenciação. O resultado da análise de variância para os valores atribuídos a cada indicador está apresentado na tabela 8. Não foram encontrados na literatura trabalhos com resultados científicos da aplicação prática desse método. Dentre os diferentes manejos a mata nativa teve média com maiores valores, de maneira geral para todos os atributos com diferenças significativas.

Pouca diferenciação foi encontrada na análise dos valores atribuídos visualmente a estrutura do solo. Houve, entretanto, destaque para os tratamentos MT e L2 que apresentaram os maiores valores e diferiram significativamente dos demais. MT por ser o tratamento referência obteve, nota máxima, já para L2 o alto valor pode ser atribuído ao incremento de matéria orgânica proporcionada pela aplicação do lodo. Esse efeito melhora a estabilidade da estrutura do solo resultando em maior resistência à erosão e maior capacidade de retenção de umidade (DE MARIA et al, 2007).

A cor do solo avaliada pela comparação com os padrões da Carta de Munsell apresentou diferenças entre tratamentos apenas com o solo em estado úmido. Os maiores valores foram atribuídos aos tratamentos PC e MT, sendo que para os demais tratamentos não houve variação significativa. Era esperado o resultado obtido para MT, porém, o alto valor atribuído a PC, por ser um manejo com grande mobilização e com baixo incremento de matéria orgânica (BAYER & MIELNICZUK 1997), permitiu afirmar que, embora exista relação entre a variação no Valor da Carta de Munsell com o teor de matéria orgânica, conforme relatado por FERNANDEZ et al. (1988), não foi possível classificar PC quanto ao teor de matéria orgânica. A explicação para esse dado pode estar no fato de que na avaliação da cor os resultados podem ser influenciados por outros fatores, a exemplo do relatado por TORRENT & BARRÓN (1993), que afirmaram que erros substanciais na determinação da cor do solo ocorrem em função da diferença de percepção entre observadores e da não-padronização da iluminação.

Avaliada segundo o método sugerido por SHEPHERD (2000), a cor do solo refletiu a ordenação teórica de qualidade proposta neste trabalho. O tratamento MT usado como referência obteve a melhor classificação (boa) com decréscimo em função da intensidade de manejo. Esse indicador mostrou-se eficiente na classificação da

qualidade do solo e na variação do teor de matéria orgânica proporcionada por manejo avaliado, com exceção de L2 que obteve baixa classificação para cor, embora tenha como característica incremento de matéria orgânica. Esse resultado pode também estar associado à imprecisão da avaliação, como relatado por TORRENT & BARRÓN (1993).

Os valores para porosidade, avaliada visualmente, indicam que a nota decresce com o aumento na densidade do solo e conseqüente diminuição da macroporosidade; isso é justificável pelo fato de que visualmente os macroporos apresentam maior destaque no perfil do solo sugerindo melhor classificação (atribuição de maior nota). O tratamento MT, mais bem classificado, obteve nota média de 1,87 e a pior classificação para PC e S a nota foi de 0,5. O baixo valor de porosidade encontrado para o tratamento S está associado ao aumento da densidade provocado pelo tráfego de equipamentos agrícolas e que não refletiu necessariamente menor qualidade física do solo, pois esse tratamento obteve boa classificação quanto à presença de camada compactada; já para PC o baixo valor está associado ainda à pobre classificação para existência de camada compactada o que pode ser limitante ao desenvolvimento das culturas e, portanto inferior em termos de qualidade.

Os dados referentes à avaliação visual da cobertura do solo estão diretamente relacionados a intensidade de manejo e incorporação dos resíduos. Os tratamentos sem revolvimento do solo MT, S, PD20 e PD8 obtiveram valores máximos para cobertura do solo e, portanto boa condição. Os tratamentos L0, L1 e L2 que são de manejo convencional, porém realizados de forma manual foram considerados de condição moderada com valores superiores ao PC que tem manejo realizado por implementos de grande mobilização do solo e que foi classificado como pobre para cobertura do solo.

Os indicadores visuais Consistência, Número de Minhocas, Mosqueado e Profundidade do Solo, não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos e se o objetivo foi diferenciar manejos esses atributos não tiveram efeito e não foram considerados nesta discussão.

Tabela 8 – Valoração visual para os atributos do solo em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP.

Tratamentos	Atributos											
	Estrutura	Consistencia Seca	Consistencia Úmida	Cor seca Munsell	Cor Úmida Munsell	Cor visual	Porosidade	Número Minhocas	Mosqueado	Camada Compactada	Cobertura do solo	Profundidade do solo
MT = Mata Nativa	2,00 b	2,00 a	2,00 a	1,50 a	1,87 b	2,00 c	1,87 d	0,00 a	2,00 a	2,00 d	2,00 c	2,00 a
S = Seringueira	1,62 a	2,00 a	2,00 a	1,50 a	1,50 a	1,50 b	0,50 a	0,00 a	2,00 a	1,50 c	2,00 c	2,00 a
PD20 = Plantio Direto há 20 anos	1,50 a	2,00 a	2,00 a	1,50 a	1,50 a	1,50 b	0,75 b	0,00 a	2,00 a	1,00 b	2,00 c	2,00 a
PD8 = Plantio Direto há 8 anos	1,50 a	2,00 a	2,00 a	1,50 a	1,50 a	1,50 b	1,00 c	0,50 a	2,00 a	1,00 b	2,00 c	2,00 a
L2 = Lodo 20 t ha ⁻¹	2,00 b	2,00 a	2,00 a	1,50 a	1,50 a	1,00 a	1,00 c	0,00 a	2,00 a	1,00 b	1,00b	2,00 a
L1 = Lodo 10 t ha ⁻¹	1,62 a	2,00 a	1,75 a	1,50 a	1,50 a	1,00 a	1,00 c	0,25 a	2,00 a	1,00 b	1,00b	2,00 a
L0 = Lodo 0 t ha ⁻¹	1,75 a	2,00 a	2,00 a	1,50 a	1,50 a	1,00 a	1,00 c	0,25 a	2,00 a	1,00 b	1,00b	2,00 a
PC = Plantio Convencional	1,75 a	2,00 a	2,00 a	1,50 a	2,00 b	1,00 a	0,50 a	0,00 a	2,00 a	0,00 a	0,00 a	2,00 a
Média Geral	1,71	2,00	1,96	1,50 a	1,65	1,31	0,95	0,12	2,00	1,06	1,37	2,00
CV (%)	13,93	0,00	8,98	0,00	16,88	0,00	14,17	258,20	0,00	0,00	0,00	0,00

Médias com as mesmas letras nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

4.4 Índices de Qualidade

4.4.1 Índice obtido a partir da avaliação visual

Os valores do índice visual obtido segundo SHEPHERD (2000) foram analisados pela análise de variância com as médias comparadas pelo teste Scott Knott no nível de 5% de probabilidade. Os resultados da análise de variância estão apresentados na tabela 9 juntamente com a classificação visual do índice, baseada na metodologia proposta pelo autor. As planilhas de campo para cada tratamento e repetição juntamente com a valoração visual dos atributos e a classificação visual estão apresentadas no anexo 12.

Tabela 9 – Valores do índice visual e a classificação quanto a qualidade do solo, segundo SHEPHERD (2000), em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférrico em Campinas, SP.

Tratamentos	Índice Visual	Classificação Visual
MT = Mata Nativa	27,75 e	Boa
S = Seringueira	22,37 c	Moderada
PD20 = Plantio Direto há 20 anos	22,00 c	Moderada
PD8 = Plantio Direto há 8 anos	23,50 d	Moderada
L2 = Lodo 20 t ha ⁻¹	20,00 b	Moderada
L1 = Lodo 10 t ha ⁻¹	19,37 b	Moderada
L0 = Lodo 0 t ha ⁻¹	19,75 b	Moderada
PC = Plantio Convencional	14,25 a	Moderada
Média Geral	21,12	
CV (%)	3,57	

Médias com as mesmas letras nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Para a análise dos valores do índice visual não foram encontrados na literatura trabalhos que tenham realizado esse tipo de análise ou semelhantes a este; no entanto, os resultados apresentaram significativa distinção entre os tratamentos. É possível afirmar que os tratamentos foram classificados em função da intensidade de mobilização do solo considerando que o maior e o menor valor foram encontrados para tratamentos extremos em termos de mobilização de solo, MT e PC respectivamente. Os valores intermediários reafirmaram essa separação dos tratamentos, reunindo L0, L1 e L2 em um grupo que diferiu significativamente, com menores valores, dos tratamentos de baixa mobilização

PD8, S e PD20. Dessa forma, considerando que os valores do índice visual foram obtidos pelo somatório dos valores de cada atributo analisado, e que maiores valores representam melhor qualidade, esse índice permitiu classificar os tratamentos em ternos de qualidade do solo reproduzindo eficientemente a hierarquia teórica de qualidade proposta neste trabalho, destacando o tratamento MT como o de melhor qualidade, ao passo que o PC foi classificado como de mais baixa qualidade. A figura 13 ilustra as diferenças nos valores obtidos para o índice visual entre os tratamentos.

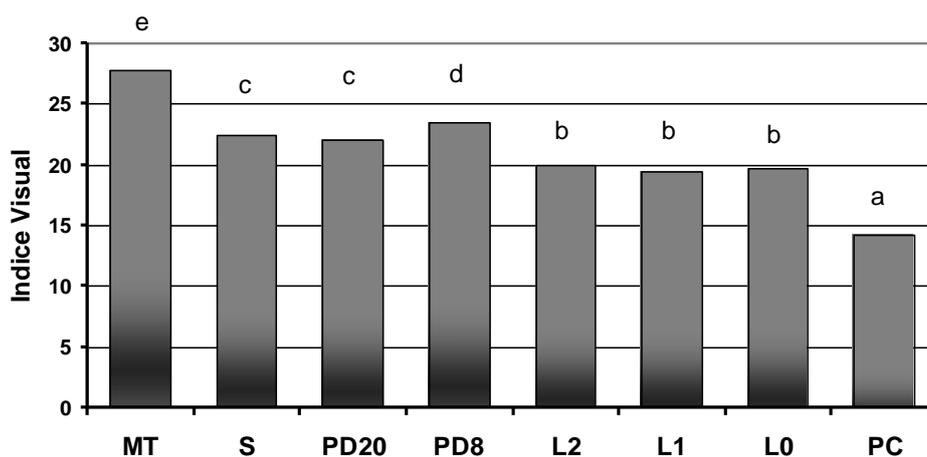


Figura 13 – Variação nos valores do índice visual em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférrico, Campinas, SP.

MT: Mata Nativa; **S:** Cultura permanente, Seringueira; **PD20:** Cultura anual em sistema plantio direto há vinte anos; **PD8:** Cultura anual em sistema plantio direto há oito anos; **L2:** Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, com 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto; **L1:** Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, com 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto; **L0:** Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, sem aplicação de lodo de esgoto - testemunha; **PC:** Cultura anual em sistema convencional de plantio. Letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

O tratamento PD8, que pelos resultados analíticos dos atributos físicos esteve próximo a PC, obteve pelo índice visual resultado que o aproximou de MT. Esse alto valor do índice visual para PD8 é explicado pelo fato de que nesse tratamento foi encontrado o maior número de minhocas e, portanto obtida maior valoração para esse indicador. A presença de minhocas no perfil do solo refletiu ainda em alto valor para porosidade visual decorrente da presença de orifícios e galerias temporárias originadas pela a atividade e movimentação das minhocas no solo.

A classificação visual sugerida por SHEPHERD (2000) apresentou o mesmo comportamento do índice visual, ou seja, foi também separada em função da intensidade de mobilização do solo; no entanto, possibilitou apenas a diferenciação do tratamento MT, que recebeu classificação “boa” para qualidade do solo, em relação aos demais

tratamentos todos classificados com condição de qualidade “moderada”. Esse método, embora tenha demonstrado efeito do manejo na qualidade do solo, não se mostrou eficiente na diferenciação de sistemas de manejo provavelmente devido a sua pequena margem de classificação; no entanto, mostrou bons resultados na atribuição de qualidade ao solo.

4.4.2 Índices obtidos com base nos atributos físicos

4.4.2.1 Índice S

O índice **S** mostrou-se sensível às alterações provocadas pelo manejo, porém ficou sempre acima do valor definido como o limite entre boas e más condições físicas de solo. DEXTER, (2004) sugeriu que valores situados acima de 0,035 indicam boas condições para o desenvolvimento agrícola; dessa forma, todos os tratamentos avaliados neste trabalho apresentaram boa estrutura para o desenvolvimento radicular e produção vegetal. A figura 14 apresenta as curvas médias de retenção de água do solo para cada tratamento e a tabela 10 apresenta os valores médios dos parâmetros m , n , θ_{res} , θ_{sat} e o valor médio calculado do índice **S**, comparado pelo teste Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade.

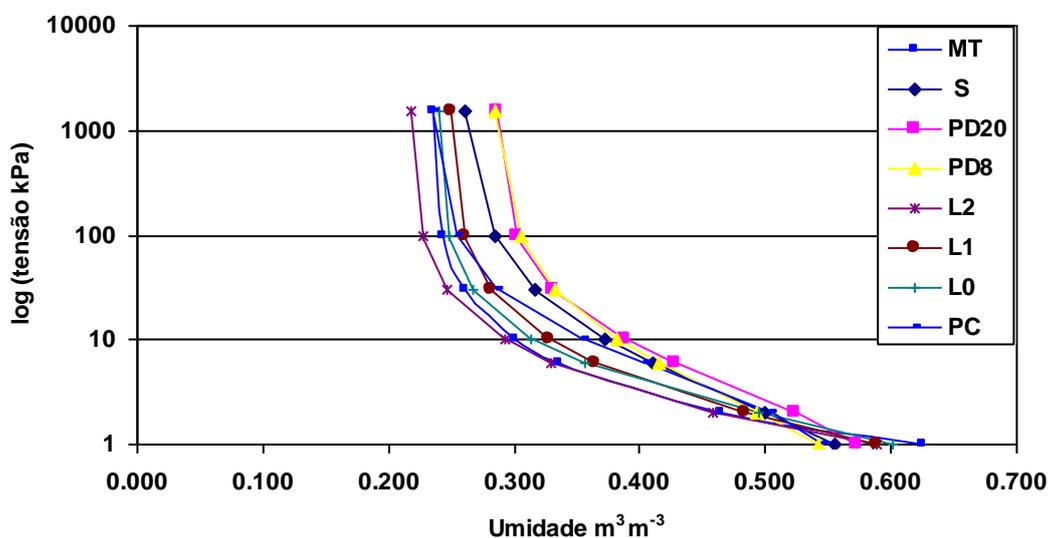


Figura 14 – Curvas médias de retenção de água do solo em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférrico em Campinas, SP.

MT: Mata Nativa; **S:** Cultura permanente, Seringueira; **PD20:** Cultura anual em sistema plantio direto há vinte anos; **PD8:** Cultura anual em sistema plantio direto há oito anos; **L2:** Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, com 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto; **L1:** Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, com 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto; **L0:** Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, sem aplicação de lodo de esgoto - testemunha; **PC:** Cultura anual em sistema convencional de plantio.

Tabela 10 – Valores médios dos parâmetros m, n, θ_{res} , θ_{sat} e valor médio calculado do índice S, em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférrico, em Campinas, SP.

Tratamentos	Parâmetros				Índice
	m	n	θ_{res} ($m^3 m^{-3}$)	θ_{sat} ($m^3 m^{-3}$)	S
MT = Mata Nativa	0,4667	1,8756	0,2353	0,6203	0,1351 b
S = Seringueira	0,3807	1,6148	0,2550	0,5658	0,0847 a
PD20 = Plantio Direto há 20 anos	0,4277	1,7558	0,2825	0,5800	0,0933 a
PD8 = Plantio Direto há 8 anos	0,3803	1,6210	0,2783	0,5510	0,0747 a
L2 = Lodo 20 t ha ⁻¹	0,4539	1,8330	0,2173	0,6133	0,1339 b
L1 = Lodo 10 t ha ⁻¹	0,4473	1,8102	0,2483	0,6065	0,1186 b
L0 = Lodo 0 t ha ⁻¹	0,4814	1,9428	0,2390	0,6170	0,1397 b
PC = Plantio Convencional	0,4425	1,7942	0,2338	0,5510	0,1036 a
Média Geral					0,1104
CV (%)					16,39

Médias com as mesmas letras nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Os tratamentos MT, L0, L1 e L2 apresentaram os maiores valores para S com diferenças significativas para os demais, o que provavelmente está relacionado à ausência do tráfego de máquinas nesses tratamentos, uma vez que os menores valores atribuídos agruparam aos tratamentos PD20, PD8, S e PC que apresentam áreas trafegadas por máquinas agrícolas. Resultado semelhante foi encontrado por SILVA et al. (2008) com valores de S sempre maiores em mata nativa que em sistemas sob plantio direto trafegado por máquinas. A figura 15 ilustra a sensibilidade do índice S em distinguir alterações introduzidas pelo manejo na qualidade física do solo.

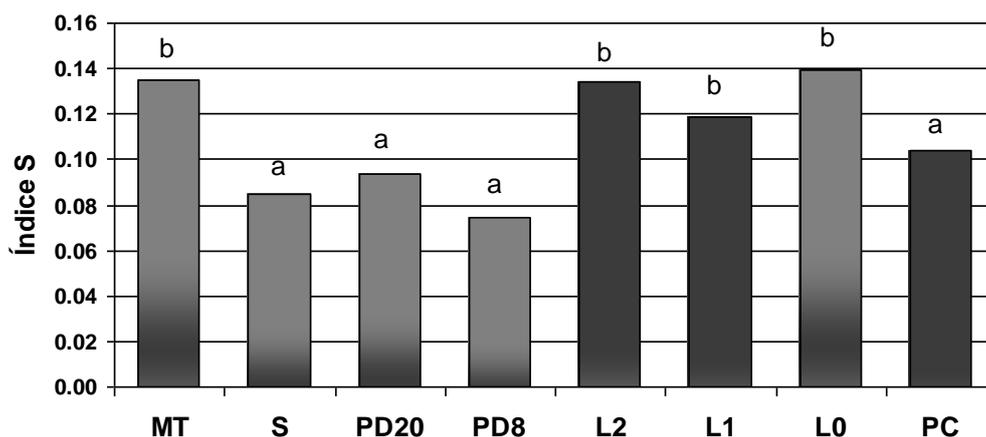


Figura 15 – Sensibilidade do índice S em distinguir alterações introduzidas por oito usos e manejos na qualidade física de um Latossolo Vermelho Distroférrico em Campinas, SP.

MT: Mata Nativa; **S:** Cultura permanente, Seringueira; **PD20:** Cultura anual em sistema plantio direto há vinte anos; **PD8:** Cultura anual em sistema plantio direto há oito anos; **L2:** Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, com 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto; **L1:** Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, com 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto; **L0:** Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, sem aplicação de lodo de esgoto - testemunha; **PC:** Cultura anual em sistema convencional de plantio.

Letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Esses dados evidenciam, a exemplo do relatado por MOREIRA et al. (2008), que uma diferença na compactação causada pelo tráfego de máquinas e mostrada pela densidade do solo foi suficiente para alterar o índice S para menos; além disso, ainda é possível verificar tendência de aumento do índice S com maiores valores de macroporosidade (Figura 16).

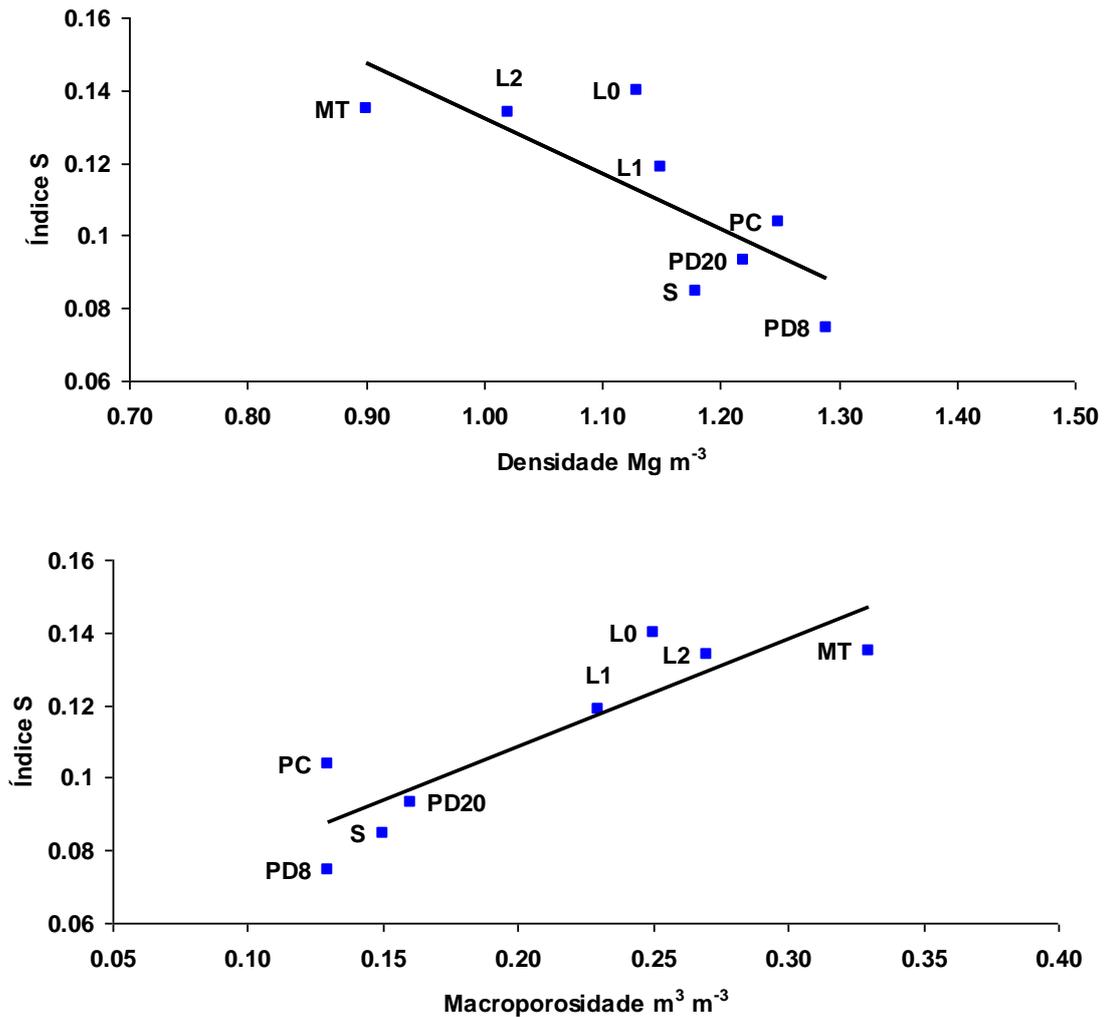


Figura 16 – Tendência de comportamento do índice S em função das variações nos valores de densidade e macroporosidade em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP.

MT: Mata Nativa; **S:** Cultura permanente, Seringueira; **PD20:** Cultura anual em sistema plantio direto há vinte anos; **PD8:** Cultura anual em sistema plantio direto há oito anos; **L2:** Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, com 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto; **L1:** Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, com 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto; **L0:** Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, sem aplicação de lodo de esgoto - testemunha; **PC:** Cultura anual em sistema convencional de plantio.

De acordo com os resultados apresentados pode-se afirmar que esse índice aponta para os tratamentos MT, L0, L1 e L2 qualidade estrutural superior ao solo dos tratamentos PD20, PD8, S e PC já que esses apresentam maior densidade, e conseqüentemente, uma estrutura física mais degradada. Segundo DEXTER (2004), aumentos da densidade do solo estão associados à degradação física do solo. Deve-se ressaltar, no entanto, que os tratamentos PD20, PD8 e S são manejos conservacionistas e, portanto menos propícios à degradação estrutural que PC e que a redução do índice S nessas áreas pode estar associada a uma diminuição do pico da distribuição de

freqüência de poros, resultando em um “achatamento” vertical da curva de retenção de água, pela redução dos poros estruturais (DEXTER, 2004). Isso demonstra que a perda de qualidade física mostrada para nesses tratamentos ocorreu, principalmente, pela redução da macroporosidade, concordando com resultados apresentados por ARGENTON et al. (2005).

4.4.2.2 Estrutura segundo Thomasson

Seguindo a proposta de THOMASSON (1978), os valores de capacidade de aeração (Car) e capacidade de água disponível (Aw) foram plotados em um gráfico com o objetivo de se obter uma classificação estrutural do solo para os tratamentos aplicados. A figura 17 apresenta os pontos de cada repetição e tratamento para classificação da estrutura sugerida por THOMASSON (1978) e a tabela 11 apresenta os valores utilizados e a descrição da classificação obtida. A relação entre Car e Aw distinguiu os tratamentos, separando aproximadamente os tratamentos sem utilização de máquina (MT, L0, L1 e L2, com Car mais elevada e AW mais baixa), dos tratamentos com mecanização (S, PD20, PD8, PC, com Car mais baixa e Aw mais elevada), seguindo a mesma tendência observada para os dados de PT e Ds apresentados na tabela 5.

Na classificação da estrutura, verificar-se que apenas o tratamento PC obteve classificação de estrutura boa para as quatro repetições; já o tratamento MT obteve classificação pobre para três das quatro repetições. Os demais tratamentos foram classificados como moderados em termos de qualidade da estrutura.

Esses resultados contradizem a ordenação teórica de qualidade estabelecida para os tratamentos e sugerem que o manejo do solo, mais especificamente o revolvimento do solo realizado no PC, com aumento de densidade e redução da porosidade, afetou positivamente a estrutura. Por outro lado, indicam que as condições de estrutura do tratamento MT seriam inadequadas para as plantas pelo baixo teor de água disponível. Essa classificação priorizou a maior disponibilidade de água às culturas como indicadora de melhor qualidade física do solo e indicou, para solos com pequeno aumento na densidade e na microporosidade, melhor qualidade estrutural em comparação ao solo em condição natural, oposto ao observado no índice S (Tabela 10).

A discussão dos resultados apresentados permite questionar a classificação obtida por esse índice para os tratamentos MT e PC. É senso comum que, quanto à aeração, solos como os de MT com altos valores de Car são preferíveis e tendem a não

limitar a produção vegetal no que diz respeito aos problemas de aeração; entretanto, os baixos valores de A_w são incapazes de sustentar as culturas em períodos de déficit hídrico. Já para o PC a relação é inversa e, embora esse solo possa suprir as culturas quanto à disponibilidade de água, infere-se que altos teores de umidade dificultem a aeração do solo.

Com esse índice proposto por THOMASSON (1978), DE MARIA et al. (1997) em ambientes tropicais, classificaram como detentores de uma estrutura de boa qualidade, solos com valores de densidade e resistência à penetração mais elevados do que os considerados restritivos ao crescimento radicular, por ROSOLEN et al. (1994). Segundo OTTONI FILHO, (2003) um solo que tenha estrutura física adequada para o desenvolvimento de determinada cultura em determinado clima pode não ser propício para outra cultura, ou para a mesma cultura num clima distinto, razão por que a adequação dos terrenos quanto à dotação de ar e água às raízes é uma matéria de múltiplas facetas.

Essa análise demonstrou que pode ser necessário um ajuste nos valores limite das classes de classificação para cada estudo, sobretudo em função do tipo de solo e clima. THOMASSON (1978) também salientou que valores adequados de capacidade de aeração são dependentes das condições climáticas, e os valores críticos de porosidade de aeração devem ser ampliados sob condições mais úmidas.

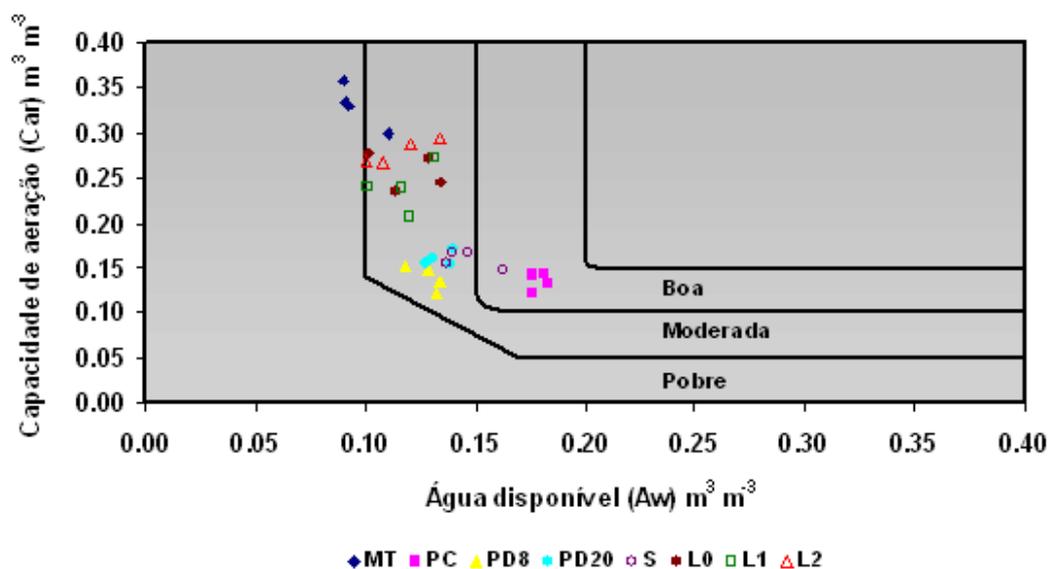


Figura 17 – Classificação da estrutura do solo (Thomasson, 1978), em quatro repetições para os tratamentos: Mata Nativa (MT); Cultura permanente, Seringueira (S); Cultura anual em sistema plantio direto há vinte anos (PD20); Cultura anual em sistema plantio direto há oito anos (PD8); Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, com 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto (L2); Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto (L1); Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, sem aplicação de lodo de esgoto - testemunha (L0); Cultura anual em sistema convencional de plantio (PC), em um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP.

Tabela 11 – Valores da capacidade de aeração do solo (Car) e água disponível (Aw) utilizados na classificação da estrutura segundo Thomasson (1978), em oito usos e manejos de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP.

	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 4
MT - Mata Nativa				
Car - (m³ m⁻³)	0,30	0,33	0,33	0,36
Aw - (m³ m⁻³)	0,11	0,09	0,09	0,09
Estrutura THOMASSON	Moderada	Pobre	Pobre	Pobre
S - Seringueira				
Car - (m³ m⁻³)	0,15	0,17	0,15	0,17
Aw - (m³ m⁻³)	0,14	0,15	0,16	0,14
Estrutura THOMASSON	Moderada	Moderada	Boa	Moderada
PD20 - Plantio Direto há vinte anos				
Car - (m³ m⁻³)	0,16	0,16	0,17	0,15
Aw - (m³ m⁻³)	0,13	0,13	0,14	0,14
Estrutura THOMASSON	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
PDS - Plantio Direto há oito anos				
Car - (m³ m⁻³)	0,15	0,14	0,15	0,12
Aw - (m³ m⁻³)	0,12	0,13	0,13	0,13
Estrutura THOMASSON	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
L2 - Lodo 20 t ha⁻¹				
Car - (m³ m⁻³)	0,27	0,27	0,29	0,29
Aw - (m³ m⁻³)	0,10	0,11	0,13	0,12
Estrutura THOMASSON	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
L1 - Lodo 10 t ha⁻¹				
Car - (m³ m⁻³)	0,24	0,21	0,24	0,27
Aw - (m³ m⁻³)	0,10	0,12	0,12	0,13
Estrutura THOMASSON	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
L0 - Lodo 0 t ha⁻¹				
Car - (m³ m⁻³)	0,23	0,25	0,28	0,27
Aw - (m³ m⁻³)	0,11	0,13	0,10	0,13
Estrutura THOMASSON	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
Plantio Convencional				
Car - (m³ m⁻³)	0,14	0,12	0,13	0,14
Aw - (m³ m⁻³)	0,18	0,18	0,18	0,18
Estrutura THOMASSON	Boa	Boa	Boa	Boa

4.5 Correlação

A matriz de correlação linear simples entre as variáveis da fertilidade do solo, atributos físicos avaliados por métodos laboratoriais, o índice S e os indicadores avaliados visualmente estão apresentados na tabela 12. O anexo 13 apresenta, para cada tratamento e repetição, os valores e atributos correlacionados. Os valores de r foram significativos, pelo teste t de Student a 5 %, 1 % e 0,1 %, quando maiores que 0,349, 0,449 e 0,554 respectivamente. Para efeito desta discussão foram realçados valores de r maiores que 0,700, dando-se ênfase às correlações entre as variáveis de maior importância na formação dos índices de qualidade.

A análise dos dados apresentou algumas correlações já conhecidas, como por exemplo, entre cálcio, matéria orgânica e pH, entre H+Al e pH, entre Soma de Bases, pH, cálcio e magnésio, entre CTC, matéria orgânica e cálcio.

A correlação entre matéria orgânica e estabilidade de agregados foi maior para os agregados de tamanho entre 6,35 – 4,00 mm, contrariando a previsão de que a matéria orgânica seria a grande responsável pela formação dos agregados de maior tamanho (9,52 – 7,93mm). TISDALL & OADES (1982) explicaram que a correlação entre matéria orgânica e agregação nem sempre é observada pelo motivo de que somente parte da matéria orgânica é responsável pela estabilização dos agregados. Ainda assim, nesse trabalho, a matéria orgânica apresentou elevada correlação positiva com os índices DMP e DMG, e elevada correlação negativa com os agregados de menor diâmetro demonstrando que existe efeito da matéria orgânica na agregação do solo.

Correlações conhecidas foram encontradas na análise física dos parâmetros de retenção de água, por exemplo: altas correlações negativas entre a porosidade total do solo e a densidade e entre a matéria orgânica e a densidade. MACHADO & BRUM (1978), estudando o efeito dos sistemas de cultivo nas propriedades físicas do solo, encontraram valores crescentes da densidade do solo e decrescentes de porosidade e da macroporosidade com a diminuição do teor de matéria orgânica. A elevada correlação negativa observada entre a microporosidade e a capacidade de aeração (Car) permite afirmar que: mudanças na estrutura do solo diminuem a macroporosidade à medida que aumenta a microporosidade. A capacidade de aeração (Car) e a porosidade total apresentaram elevadas correlações positivas com os agregados da classe 6,35 – 4,00 mm e 4,00 – 2,00 e elevadas correlações negativas com a classe 1,00 – 0,50 mm o que é explicado pelo fato de a porosidade do solo estar intimamente relacionado ao estado de

agregação, segundo BEUTLER et al. (2005) o conjunto de agregados de diversos diâmetros define a estrutura do solo e a sua porosidade. Observa-se que a água disponível (A_w) apresentou alta correlação negativa com a porosidade total e positiva com a microporosidade demonstrando que o aumento da densidade pode melhorar a disponibilidade de água (SWAN et al., 1987). Mediante a análise desses parâmetros, verificou-se que os atributos físicos que mais se correlacionaram com a retenção de água foram a macroporosidade, a microporosidade e a densidade.

Para os atributos visuais (SHEPHERD, 2000) destacaram-se as correlações entre capacidade de aeração (CAR), porosidade total e os agregados de diâmetro 6,35 – 4,00 mm com a porosidade avaliada pelo método visual; ainda a porosidade avaliada visualmente apresentou alta correlação negativa com a variável água disponível (A_w). Essas correlações indicam que o método visual permite inferir de maneira precisa sobre a porosidade do solo principalmente quanto à quantidade de macroporos. Os atributos visuais cor e camada compactada apresentaram correlações de 0,739, 0,717 com os teores de matéria orgânica, indicando a influência da matéria orgânica na variação da cor, e a resistência que esta exerce ao aumento da compactação. Segundo SOANE (1990) a matéria orgânica contribui de diversas formas para aumentar a resistência à compactação, pois os compostos orgânicos aumentam a coesão entre as partículas e agregados.

O índice visual de qualidade apresentou elevada correlação positiva com os agregados de maior diâmetro e com os índices DMP e DMG e elevada correlação negativa com os agregados de menor diâmetro, demonstrando que o estado de agregação pôde ser estimado pelos atributos visuais, constituindo um importante indicador da qualidade. A correlação de 0,734 entre o índice visual e o teor de matéria orgânica, demonstra a influência desta na variação dos atributos visuais, além de ser possível inferir sobre atributos de fertilidade como Ca, Soma de Bases e CTC com valores de r de 0,792, 0,772 e 0,731 respectivamente correlacionados ao índice visual.

Tabela 12 – Matriz de correlação linear simples entre as variáveis dos atributos químicos, físicos e biológicos, de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP.

	Argila	Silte	Areia Total	Areia Grossa	Areia Fina	Ag 9,52 - 7,93	Ag 7,93 - 6,35	Ag 6,35 - 4,00	Ag 4,00 - 2,00	Ag 2,00 - 1,00	Ag 1,00 - 0,50	Ag < 0,50	Ag 9,52 - 4,00	Ag < 2,00
Argila (< 0,002 mm)	1													
Silte (0,053 - 0,002 mm)	-0,385*	1												
Areia Total (2,00 - 0,053 mm)	-0,926***	0,009	1											
Areia Grossa (2,00 - 0,210 mm)	-0,882***	-0,047	0,975***	1										
Areia Fina (0,210 - 0,053 mm)	-0,817***	0,150	0,824***	0,678***	1									
Agregados de 9,52 - 7,93 mm	-0,113	0,199	0,041	0,070	-0,041	1								
Agregados de 7,93 - 6,35 mm	-0,337	0,327	0,231	0,287	0,033	0,856***	1							
Agregados de 6,35 - 4,00 mm	-0,525**	0,381*	0,413**	0,477**	0,151	0,728***	0,936***	1						
Agregados de 4,00 - 2,00 mm	-0,551**	0,488**	0,397*	0,414*	0,258	0,240	0,536**	0,636***	1					
Agregados de 2,00 - 1,00 mm	0,407*	0,174	-0,511**	-0,585***	-0,199	-0,647***	-0,715***	-0,724***	-0,279	1				
Agregados de 1,00 - 0,50 mm	0,542**	-0,255	-0,483**	-0,541**	-0,218	-0,679***	-0,888***	-0,934***	-0,775***	0,759***	1			
Agregados < 0,50 mm	0,383*	-0,650***	-0,149	-0,172	-0,055	-0,678***	-0,854***	-0,854***	-0,771***	0,345	0,814***	1		
Agregados de 9,52 - 4,00 mm	-0,382*	0,335	0,277	0,331	0,069	0,882***	0,986***	0,960***	0,532**	-0,740***	-0,901***	-0,853***	1	
Agregados < 2,00 mm	0,486**	-0,428*	-0,351*	-0,399*	-0,143	-0,763***	-0,946***	-0,961***	-0,758***	0,667***	0,964***	0,926***	-0,955***	1
Diâmetro médio ponderado	-0,394*	0,402*	0,263	0,310	0,079	0,864***	0,980***	0,953***	0,627***	-0,679***	-0,920***	-0,910***	0,990***	-0,981***
Diâmetro médio geométrico	-0,434*	0,372*	0,318	0,371*	0,107	0,837***	0,972***	0,965***	0,613***	-0,708***	-0,921***	-0,884***	0,985***	-0,972***
PT - Porosidade Total	-0,626***	0,372*	0,526**	0,543**	0,355*	0,310	0,608***	0,731***	0,770***	-0,433*	-0,784***	-0,682***	0,618***	-0,744***
Retenção de água a 0,5 kPa	-0,621***	0,415*	0,503**	0,521**	0,336	0,333	0,624***	0,750***	0,738***	-0,433*	-0,775***	-0,694***	0,638***	-0,748***
Retenção de água a 2 kPa	0,575***	-0,078	-0,591***	-0,586***	-0,464**	-0,228	-0,408*	-0,462**	-0,404*	0,466**	0,517**	0,320	-0,407*	0,454**
Microporosidade - 6 kPa	0,701***	-0,232	-0,665***	-0,659***	-0,521**	-0,193	-0,461**	-0,581***	-0,678***	0,394*	0,676***	0,509**	-0,469**	0,597***
CC - Capacidade de campo a 10 kPa	0,515**	0,048	-0,578***	-0,583***	-0,426*	0,048	-0,228	-0,343	-0,567***	0,337	0,521**	0,226	-0,219	0,367*
CC - Capacidade de campo a 30 kPa	0,425*	0,145	-0,520**	-0,535**	-0,355*	-0,036	-0,308	-0,386*	-0,488**	0,420*	0,546**	0,223	-0,288	0,392*
Retenção de água a 100 kPa	0,331	0,257	-0,464**	-0,481**	-0,309	0,013	-0,233	-0,289	-0,386*	0,395*	0,461**	0,110	-0,206	0,293
PMP - 1500 kPa	0,304	0,286	-0,446*	-0,474**	-0,266	0,012	-0,249	-0,292	-0,367*	0,416*	0,457**	0,102	-0,213	0,292
Densidade do Solo	0,664***	-0,246	-0,619***	-0,633***	-0,434*	-0,406*	-0,684***	-0,755***	-0,679***	0,596***	0,812***	0,631***	-0,679***	0,760***
AD - Água disponível (10 kPa - 1500 kPa)	0,571***	-0,210	-0,532**	-0,512**	-0,456**	0,070	-0,134	-0,288	-0,595***	0,150	0,423*	0,283	-0,157	0,328
AD - Água disponível (30 kPa - 1500 kPa)	0,500**	-0,304	-0,417*	-0,391*	-0,386*	-0,141	-0,285	-0,412*	-0,527**	0,190	0,466**	0,413*	-0,320	0,430*
CAR - Capacidade de aeração (PT - 6 kPa)	-0,693***	0,319	0,621***	0,627***	0,455**	0,266	0,563***	0,690***	0,760***	-0,434*	-0,767***	-0,628***	0,572***	-0,706***
Aw - Água disponível (6 kPa - 1500 kPa)	0,693***	-0,605***	-0,504**	-0,468**	-0,476**	-0,283	-0,408*	-0,534**	-0,599***	0,150	0,508**	0,619***	-0,455**	0,559***
Índice S	-0,359*	-0,001	0,389*	0,407*	0,251	0,134	0,314	0,421*	0,571***	-0,360*	-0,577***	-0,335	0,332	-0,454**
Limite de liquidez	0,143	0,207	-0,240	-0,245	-0,168	0,207	0,192	0,138	0,078	0,057	-0,104	-0,247	0,182	-0,167
Limite de plasticidade	0,093	0,051	-0,122	-0,075	-0,213	0,204	0,277	0,266	0,259	-0,101	-0,295	-0,308	0,268	-0,296
Índice de Plasticidade	0,153	0,342	-0,306	-0,385*	-0,029	0,084	-0,052	-0,141	-0,258	0,283	0,267	-0,013	-0,059	0,136

***, ** e *: significativos a 0,1 %, 1 % e 5 % respectivamente.

Continua ...

Tabela 12 – Continuação ...

	Argila	Silte	Areia Total	Areia Grossa	Areia Fina	Ag 9,52 - 7,93	Ag 7,93 - 6,35	Ag 6,35 - 4,00	Ag 4,00 - 2,00	Ag 2,00 - 1,00	Ag 1,00 - 0,50	Ag < 0,50	Ag 9,52 - 4,00	Ag <2,00
Matéria Orgânica	-0,452**	0,260	0,384*	0,428*	0,178	0,603***	0,788***	0,806***	0,409*	-0,609***	-0,715***	-0,655***	0,789***	-0,750***
pH	-0,402**	0,527**	0,220	0,256	0,075	0,434*	0,515**	0,608***	0,276	-0,357*	-0,447*	-0,519**	0,564***	-0,531**
P - Fosforo	0,130	-0,063	-0,116	-0,162	0,030	-0,237	-0,301	-0,372*	-0,108	0,459**	0,316	0,153	-0,333	0,294
K - Potássio	0,137	0,454**	-0,334	-0,396*	-0,094	0,015	-0,151	-0,193	-0,127	0,509**	0,302	-0,099	-0,134	0,147
Ca - Cálcio	-0,506**	0,442*	0,368*	0,400*	0,198	0,554***	0,701***	0,768***	0,343	-0,510**	-0,609***	-0,632***	0,731***	-0,682***
Mg - Magnésio	-0,203	0,435*	0,042	0,020	0,089	0,139	0,146	0,200	0,021	0,053	-0,033	-0,240	0,177	-0,143
H+Al	0,132	-0,383*	0,014	-0,014	0,082	-0,274	-0,238	-0,298	-0,019	0,172	0,146	0,238	-0,288	0,229
Soma bases	-0,465**	0,479**	0,309	0,329	0,182	0,499**	0,620***	0,686***	0,291	-0,404*	-0,513**	-0,589***	0,651***	-0,603***
V%	-0,335	0,582***	0,125	0,135	0,070	0,353*	0,396*	0,474**	0,199	-0,175	-0,300	-0,461**	0,442*	-0,410*
CTC - Capacidade de troca catiônica	-0,523**	0,288	0,449**	0,450**	0,337	0,429*	0,629***	0,662***	0,386*	-0,399*	-0,573***	-0,584***	0,625***	-0,616***
B - Boro	-0,193	-0,063	0,235	0,189	0,299	-0,042	0,086	0,060	0,218	0,016	-0,145	-0,120	0,044	-0,110
Cu - Cobre	-0,082	-0,058	0,113	0,043	0,265	-0,377*	-0,282	-0,256	0,186	0,400*	0,120	0,071	-0,310	0,174
Fe - Ferro	-0,250	-0,097	0,311	0,258	0,372*	-0,275	-0,114	-0,054	0,321	0,155	-0,103	-0,026	-0,136	-0,007
Mn - Manganês	-0,063	0,362*	-0,080	-0,166	0,162	-0,220	-0,264	-0,249	0,090	0,533**	0,236	-0,043	-0,260	0,169
Zn - Zinco	-0,225	-0,065	0,271	0,229	0,312	-0,292	-0,112	-0,048	0,333	0,190	-0,096	-0,049	-0,137	-0,011
Estrutura	-0,291	-0,209	0,401*	0,472**	0,121	0,205	0,368*	0,375*	0,274	-0,386*	-0,434*	-0,240	0,347	-0,363*
Consistência Úmida	-0,048	0,157	-0,012	-0,015	-0,001	0,102	0,126	0,109	0,056	-0,080	-0,082	-0,111	0,119	-0,111
Cor Úmida Munsell	-0,113	-0,422*	0,295	0,345	0,098	0,135	0,213	0,208	-0,193	-0,566***	-0,201	0,173	0,201	-0,088
Cor Visual	-0,193	0,473**	0,016	0,049	-0,074	0,632***	0,676***	0,637***	0,105	-0,368*	-0,397*	-0,590***	0,683***	-0,563***
Porosidade	-0,722***	0,514**	0,573***	0,579***	0,418*	0,271	0,545**	0,711***	0,479**	-0,371*	-0,586***	-0,583***	0,577***	-0,612***
N° Minhocas	-0,049	0,264	-0,054	-0,132	0,159	-0,140	-0,138	-0,095	0,033	0,312	0,142	-0,048	-0,126	0,086
Camada Compactada	-0,460**	0,658***	0,229	0,241	0,146	0,599***	0,753***	0,774***	0,548**	-0,362*	-0,641***	-0,832***	0,762***	-0,778***
Cobertura do Solo	-0,067	0,716***	-0,220	-0,240	-0,116	0,490**	0,462**	0,397*	0,175	0,061	-0,184	-0,623***	0,465**	-0,419*
Índice Visual	-0,446*	0,685***	0,203	0,209	0,139	0,575***	0,721***	0,743***	0,432**	-0,274	-0,550**	-0,804***	0,732***	-0,714***

***, ** e *: significativos a 0,1 %, 1 % e 5 % respectivamente.

Continua ...

Tabela 12 – Continuação ...

	DMP	DMG	Poros. Total 0,5 Kpa	2 Kpa	Microp. 6 Kpa	CC 10 Kpa	CC 30 Kpa	100 kPa	PMP 1500 Kpa	Dens. do solo	AD 10 - 1500	AD 30 - 1500	CAR PT - 6 Kpa	Aw 6 - 1500
Diâmetro médio ponderado	1													
Diâmetro médio geométrico	0,988***	1												
PT - Porosidade Total	0,655***	0,677***	1											
Retenção de água a 0,5 kPa	0,669***	0,693***	0,988***	1										
Retenção de água a 2 kPa	-0,406*	-0,477**	-0,509**	-0,448*	1									
Microporosidade - 6 kPa	-0,503**	-0,536**	-0,823***	-0,767***	0,816***	1								
CC - Capacidade de campo a 10 kPa	-0,249	-0,275	-0,694***	-0,63***	0,665***	0,880***	1							
CC - Capacidade de campo a 30 kPa	-0,299	-0,321	-0,634***	-0,575***	0,642***	0,821***	0,945***	1						
Retenção de água a 100 kPa	-0,208	-0,236	-0,529**	-0,468**	0,612***	0,745***	0,906***	0,982***	1					
PMP - 1500 kPa	-0,211	-0,242	-0,468**	-0,409*	0,615***	0,705***	0,849***	0,949***	0,968***	1				
Densidade do Solo	-0,694***	-0,723***	-0,893***	-0,863***	0,727***	0,871***	0,694***	0,707***	0,625***	0,590***	1			
AD - Água disponível (10 kPa - 1500 kPa)	-0,210	-0,223	-0,708***	-0,659***	0,507**	0,783***	0,841***	0,645***	0,558***	0,428*	0,583***	1		
AD - Água disponível (30 kPa - 1500 kPa)	-0,358*	-0,345	-0,707***	-0,682***	0,345	0,656***	0,658***	0,564**	0,460**	0,274	0,609***	0,844***	1	
CAR - Capacidade de aeração (PT - 6 kPa)	0,610***	0,638***	0,959***	0,924***	-0,687***	-0,951***	-0,820***	-0,758***	-0,662***	-0,609***	-0,924***	-0,779***	-0,715***	1
Aw - Água disponível (6 kPa - 1500 kPa)	-0,504**	-0,520**	-0,705***	-0,684***	0,551**	0,724***	0,414*	0,234	0,109	0,021	0,653***	0,687***	0,658***	-0,748***
Índice S	0,364*	0,387*	0,794***	0,765***	-0,444*	-0,755***	-0,838***	-0,788***	-0,741***	-0,649***	-0,704***	-0,768***	-0,701***	0,812***
Limite de liquidez	0,197	0,161	0,033	0,058	0,109	0,118	0,220	0,207	0,225	0,143	0,056	0,229	0,257	-0,041
Limite de plasticidade	0,288	0,250	0,191	0,184	0,001	-0,081	-0,007	-0,046	-0,023	-0,139	-0,116	0,129	0,223	0,145
Índice de Plasticidade	-0,061	-0,071	-0,237	-0,179	0,208	0,354*	0,450**	0,484**	0,489**	0,512**	0,291	0,244	0,134	-0,307
Matéria Orgânica	0,765***	0,814***	0,665***	0,689***	-0,584***	-0,541**	-0,245	-0,288	-0,231	-0,221	-0,793***	-0,194	-0,301	0,634***
pH	0,546**	0,597***	0,449**	0,537**	-0,158	-0,235	-0,029	0,042	0,127	0,141	-0,313	-0,195	-0,241	0,363*
P - Fosforo	-0,293	-0,310	-0,126	-0,190	-0,112	-0,121	-0,131	-0,120	-0,130	-0,128	0,079	-0,093	-0,029	-0,008
K - Potássio	-0,097	-0,105	-0,182	-0,100	0,418*	0,377*	0,525**	0,646***	0,642***	0,700***	0,375*	0,181	0,139	-0,289
Ca - Cálcio	0,703***	0,774***	0,616***	0,683***	-0,409*	-0,412*	-0,128	-0,105	-0,023	-0,014	-0,588***	-0,204	-0,284	0,543**
Mg - Magnésio	0,170	0,237	0,167	0,233	-0,110	-0,071	0,090	0,199	0,266	0,264	-0,034	-0,116	-0,085	0,127
H+Al	-0,264	-0,305	-0,108	-0,216	-0,171	-0,154	-0,259	-0,331	-0,384*	-0,378*	-0,092	-0,057	-0,020	0,018
Soma bases	0,628***	0,701***	0,550**	0,623***	-0,354*	-0,351*	-0,071	-0,026	0,057	0,067	-0,492**	-0,190	-0,253	0,476**
V%	0,433*	0,481**	0,348	0,444*	-0,047	-0,120	0,088	0,179	0,262	0,279	-0,173	-0,135	-0,185	0,250
CTC - Capacidade de troca catiônica	0,616***	0,678***	0,655***	0,651***	-0,674***	-0,641***	-0,352*	-0,361*	-0,299	-0,279	-0,778***	-0,316	-0,369*	0,679***
B - Boro	0,073	0,103	0,281	0,218	-0,480**	-0,389*	-0,288	-0,268	-0,287	-0,251	-0,430*	-0,236	-0,160	0,349*
Cu - Cobre	-0,248	-0,278	0,118	0,032	-0,260	-0,367*	-0,411*	-0,371*	-0,376*	-0,327	-0,170	-0,368*	-0,274	0,248
Fe - Ferro	-0,084	-0,093	0,330	0,244	-0,431*	-0,543**	-0,573***	-0,521**	-0,507**	-0,472**	-0,371*	-0,497**	-0,352*	0,452**
Mn - Manganês	-0,194	-0,197	0,052	0,052	0,071	-0,011	0,139	0,338	0,339	0,410*	0,095	-0,181	-0,042	0,033
Zn - Zinco	-0,083	-0,091	0,335	0,253	-0,436*	-0,561***	-0,611***	-0,541**	-0,525**	-0,478**	-0,336	-0,555***	-0,398*	0,464**
Estrutura	0,337	0,372*	0,403*	0,345	-0,486**	-0,582***	-0,517**	-0,545**	-0,555***	-0,564***	-0,509**	-0,307	-0,185	0,512**
Consistência Úmida	0,118	0,114	-0,021	0,051	0,165	0,116	0,082	0,007	0,022	-0,040	-0,023	0,181	0,126	-0,070
Cor Úmida Munsell	0,113	0,194	0,059	0,087	-0,206	-0,028	-0,142	-0,263	-0,332	-0,359*	-0,152	0,124	0,137	0,046
Cor Visual	0,646***	0,678***	0,256	0,328	-0,125	-0,007	0,348	0,295	0,355*	0,336	-0,316	0,250	0,018	0,143
Porosidade	0,569***	0,633***	0,752***	0,782***	-0,544**	-0,677***	-0,424*	-0,348	-0,261	-0,230	-0,679***	-0,490**	-0,457**	0,750***
N° Mínhocas	-0,098	-0,083	-0,045	-0,028	-0,005	0,083	0,072	0,082	0,123	0,082	0,152	0,039	0,037	-0,067
Camada Compactada	0,784***	0,777***	0,603***	0,612***	-0,382*	-0,472**	-0,094	-0,077	0,057	0,043	-0,630***	-0,204	-0,346	0,566***
Cobertura do Solo	0,489**	0,465**	0,132	0,177	0,045	0,065	0,456**	0,475**	0,567***	0,559***	-0,127	0,208	-0,015	0,039
Índice Visual	0,741***	0,761***	0,541**	0,572***	-0,361*	-0,394*	0,011	0,026	0,138	0,125	-0,547**	-0,110	-0,248	0,493**

***, ** e *: significativos a 0,1 %, 1 % e 5 % respectivamente.

Continua ...

Tabela 12 – Conclusão

	Índice S	Limite de Liquidez	Limite de Plasticidade	Índice de Plasticidade	Matéria Orgânica	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Soma bases	V%	CTC
Índice S	1													
Limite de liquidez	-0,121	1												
Limite de plasticidade	0,066	0,846***	1											
Índice de Plasticidade	-0,348	0,538**	0,009	1										
Matéria Orgânica	0,361*	0,118	0,168	-0,028	1									
pH	0,212	0,096	-0,002	0,206	0,482**	1								
P - Fosforo	-0,024	-0,127	-0,120	-0,048	-0,268	-0,557***	1							
K - Potássio	-0,306	0,156	-0,136	0,514**	-0,102	0,312	-0,001	1						
Ca - Calcio	0,273	0,123	0,082	0,119	0,820***	0,860***	-0,457**	0,151	1					
Mg - Magnésio	0,013	0,088	-0,095	0,341	0,204	0,778***	-0,292	0,407*	0,652***	1				
H+Al	0,065	-0,108	0,043	-0,291	-0,146	-0,885***	0,621***	-0,452**	-0,630***	-0,738***	1			
Soma bases	0,223	0,128	0,046	0,188	0,734***	0,897***	-0,447*	0,247	0,986***	0,769***	-0,699***	1		
V%	0,093	0,117	-0,035	0,299	0,375*	0,970***	-0,517**	0,457**	0,813***	0,857***	-0,918***	0,879***	1	
CTC - Capacidade de troca catiônica	0,365*	0,070	0,105	-0,024	0,885***	0,371*	-0,007	-0,106	0,752***	0,335	0,017	0,702***	0,312	1
B - Boro	0,215	-0,078	-0,020	-0,123	0,419*	-0,425*	0,388*	-0,105	0,005	-0,332	0,631***	-0,066	-0,431**	0,541**
Cu - Cobre	0,228	-0,097	-0,010	-0,178	-0,113	-0,680***	0,743***	-0,166	-0,480**	-0,494**	0,824***	-0,512**	-0,662***	0,103
Fe - Ferro	0,389*	-0,100	0,042	-0,267	0,083	-0,550**	0,619***	-0,297	-0,290	-0,455**	0,736***	-0,348	-0,572***	0,246
Mn - Manganês	-0,052	0,051	-0,123	0,298	-0,025	-0,044	0,215	0,692***	-0,039	0,080	0,024	0,009	0,075	0,035
Zn - Zinco	0,403*	-0,096	0,051	-0,267	0,060	-0,491**	0,609***	-0,262	-0,266	-0,398*	0,664***	-0,315	-0,508**	0,221
Estrutura	0,400*	-0,193	0,069	-0,483**	0,361*	0,043	0,093	-0,373*	0,203	-0,153	0,226	0,128	-0,095	0,399*
Consistência Úmida	0,020	-0,039	-0,081	0,043	0,071	0,115	-0,064	-0,029	0,104	0,112	-0,079	0,110	0,126	0,072
Cor Úmida Munsell	0,080	-0,101	-0,043	-0,154	0,286	0,174	-0,505**	-0,359*	0,338	0,038	-0,206	0,281	0,120	0,195
Cor Visual	-0,187	0,215	0,080	0,315	0,739***	0,636***	-0,357*	-0,257	0,805***	0,429*	-0,487**	0,779***	0,616***	0,610***
Porosidade	0,401*	0,031	0,030	0,022	0,692***	0,683***	-0,178	0,038	0,803***	0,455**	-0,372*	0,775***	0,613***	0,714***
Nº Minhocas	-0,126	0,314	0,096	0,436*	-0,212	0,106	0,169	0,228	0,022	0,418*	-0,181	0,111	0,199	-0,024
Camada Compactada	0,158	0,189	0,226	0,045	0,717***	0,531**	-0,082	0,013	0,693***	0,291	-0,234	0,648***	0,470**	0,672***
Cobertura do Solo	-0,301	0,267	0,091	0,413*	0,441*	0,422*	-0,009	0,469**	0,493**	0,360*	-0,307	0,508**	0,469**	0,406*
Índice Visual	0,058	0,222	0,158	0,209	0,734***	0,635***	-0,086	0,201	0,792***	0,458**	-0,351*	0,772***	0,599***	0,731***
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Estrutura	Cons. Úmida	Cor Munsell	Cor Visual	Porosidade	Nº Minhocas	Camada Compactada	Cobertura do Solo	Índice Visual
B - Boro	1													
Cu - Cobre	0,687***	1												
Fe - Ferro	0,745***	0,935***	1											
Mn - Manganês	0,419*	0,371*	0,310	1										
Zn - Zinco	0,674***	0,915***	0,971***	0,316	1									
Estrutura	0,279	0,125	0,245	-0,185	0,237	1								
Consistência Úmida	-0,077	-0,127	-0,160	-0,251	-0,239	-0,182	1							
Cor Úmida Munsell	0,012	-0,444*	-0,274	-0,450**	-0,276	0,264	0,095	1						
Cor Visual	0,015	-0,503**	-0,429*	-0,028	-0,443*	0,020	0,161	0,176	1					
Porosidade	0,152	-0,082	0,109	0,123	0,142	0,355*	-0,020	0,149	0,526**	1				
Nº Minhocas	-0,160	0,039	-0,002	0,025	0,012	-0,468**	0,068	-0,200	-0,068	0,042	1			
Camada Compactada	0,115	-0,113	-0,011	0,018	-0,009	0,174	0,021	-0,206	0,746***	0,647***	-0,045	1		
Cobertura do Solo	0,031	-0,196	-0,250	0,271	-0,260	-0,182	0,097	-0,394*	0,806***	0,326	0,068	0,789***	1	
Índice Visual	0,120	-0,190	-0,101	0,096	-0,099	0,214	0,041	-0,120	0,844***	0,745***	0,086	0,931***	0,825***	1

***, ** e *: significativos a 0,1 %, 1 % e 5 % respectivamente.

4.6 Análise de Componentes Principais

A análise multivariada de componentes principais foi realizada a partir de cinquenta e cinco variáveis de resposta do solo correlacionadas com os oito usos e manejos considerados. Foram obtidos 55 componentes principais e desses extraídos os três primeiros que de forma acumulada explicaram 82,21 % da variabilidade total (Tabela 13).

Tabela 13 – Estimativa dos autovalores associados aos três primeiros componentes principais juntamente com sua importância relativa (% variância) e acumulada (% acumulada) referente às variáveis de resposta de um Latossolo Vermelho Distroférico, em Campinas, SP, independente do uso e manejo.

Componente	Autovalor	% Variância	% Acumulada
1	24.2807761	43.9717724	43.9717724
2	13.9468224	25.2572858	69.2290581
3	7.1668514	12.9789574	82.2080156

O componente principal 1 é sempre o mais importante. Nesse trabalho o primeiro componente explica 44,0 % da variância total dos dados, o que, de acordo com FACCI (2008) sugere uma boa síntese do conjunto de dados originais, justificando a prioridade dada ao primeiro componente principal quando se considera a seleção de indicadores para se analisar a qualidade do solo.

Observando os valores do coeficiente de correlação entre as variáveis originais e os componentes principais (Tabela 14), pode-se verificar que as variáveis de maior correlação positiva na formação do componente principal 1 foram respectivamente a retenção de água a 0,5 kPa (0,1941), a porosidade total (0,1918) e os agregados da classe 6,35 – 4,00 mm (0,1892). As maiores correlações negativas foram observadas para os agregados da classe 1,00 – 0,50 mm (-0,1914) e a densidade do solo (-0,1957). É possível afirmar que a qualidade do solo expressa pelo primeiro componente principal está associada à variação dos atributos físicos do solo.

O segundo componente principal explicou 25,3 % da variabilidade total dos dados e apresentou maiores correlações positivas com ferro (0,2125), zinco (0,2091) e a acidez potencial H+Al (0,2042). Os atributos químicos foram, portanto os maiores responsáveis pela variação expressa pelo componente 2. As maiores correlações negativas ocorreram para cor visual e limite de liquidez.

O componente principal 3, que explicou 13,0 % da variabilidade encontrada, apresentou maiores valores de correlação positiva para as variáveis manganês (0,3260), agregados da classe 2,00 – 1,00 mm (0,2590) e fósforo (0,2432). As correlações negativas apresentaram valores de -0,2957 para cor úmida Munsell e -0,2374 para Aw.

É possível observar que atributos físicos e químicos avaliados pelos métodos tradicionais usados na ciência do solo (métodos laboratoriais) tiveram maior contribuição na variação do grupo de dados correlacionados. Os atributos visuais não apresentaram significativos valores na formação do primeiro componentes com destaque para porosidade (0,1795), estrutura (0,1539) e camada compactada (0,1522). Apesar da baixa significância desses indicadores é possível verificar que estes estão diretamente relacionados com os atributos físicos de maior peso associado ao componente principal 1, podendo preliminarmente indicar a representatividade desses atributos visuais na avaliação da qualidade do solo. Para o segundo componente o atributo cor visual apresentou correlação negativa de -0,2089, e a cor úmida Munsell foi negativamente correlacionada com o terceiro componente principal.

Tabela 14 – Coeficientes de correlação associados a cada variável de resposta de um Latossolo Vermelho Distroférico, em Campinas, SP, na definição dos três primeiros componentes principais.

Atributo	Componente Principal		
	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3
Argila (< 0,002 mm)	-0,1860	-0,0442	-0,0863
Silte (0,053 - 0,002 mm)	0,0879	-0,1472	0,2345
Areia Total (2,00 - 0,053 mm)	0,1653	0,1179	-0,0138
Areia Grossa (2,00 - 0,210 mm)	0,1676	0,1079	-0,0635
Areia Fina - 0,210 - 0,053 mm	0,1318	0,1324	0,1526
Agregados de 9,52 - 7,93 mm	0,1229	-0,1604	-0,1076
Agregados de 7,93 - 6,35 mm	0,1725	-0,0980	-0,0862
Agregados de 6,35 - 4,00 mm	0,1892	-0,0735	-0,0632
Agregados de 4,00 - 2,00 mm	0,1661	0,0370	0,1054
Agregados de 2,00 - 1,00 mm	-0,1402	0,0059	0,2590
Agregados de 1,00 - 0,50 mm	-0,1914	0,0054	0,0755
Agregados < 0,50 mm	-0,1645	0,1049	-0,0923
Agregados de 9,52 - 4,00 mm	0,1737	-0,1027	-0,0821
Agregados < 2,00 mm	-0,1871	0,0664	0,0282
DMP - Diâmetro médio ponderado	0,1767	-0,0980	-0,0465
DMG - Diâmetro médio geométrico	0,1821	-0,0981	-0,0566
PT - Porosidade Total	0,1918	0,0301	0,0525
Retenção de água a 0,5 kPa	0,1941	0,0097	0,0409
Retenção de água a 2 kPa	-0,1613	-0,1006	0,0183
Microporosidade - 6 kPa	-0,1741	-0,1117	-0,0820
CC - Capacidade de campo a 10 kPa	-0,1349	-0,1834	-0,0011
CC - Capacidade de campo a 30 kPa	-0,1168	-0,2007	0,0886
Retenção de água a 100 kPa	-0,1198	-0,1981	0,0895
PMP - Ponto de murcha permanente a 1500 kPa	-0,1013	-0,2070	0,1129
Densidade do Solo	-0,1957	-0,0546	0,0122
AD - Água disponível (10 kPa - 1500 kPa)	-0,1247	-0,1489	-0,1351
AD - Água disponível (30 kPa - 1500 kPa)	-0,1455	-0,0574	-0,2070
CAR - Capacidade de aeração (PT - Microporosidade)	0,1886	0,0785	0,0573
Aw - Água disponível (Microporosidade - PMP)	-0,1522	0,0329	-0,2374
Limite de liquidez	-0,0366	-0,2176	0,1871
Limite de plasticidade	0,0327	-0,1807	0,0684
Consistência	-0,0742	-0,1887	0,1602
Mat. Orgânica	0,1710	-0,0626	-0,0366
pH	0,1142	-0,1792	-0,0156
P - Fosforo	-0,0538	0,1398	0,2432
K - Potássio	-0,0558	-0,1595	0,2129
Ca - Calcio	0,1571	-0,1460	-0,0254
Mg - Magnésio	0,0472	-0,1698	0,0672
H+Al	-0,0346	0,2042	0,0393
Soma bases	0,1421	-0,1633	-0,0015
V%	0,0876	-0,1976	0,0279
CTC - Capacidade de troca catiônica	0,1675	-0,0218	0,0378
B - Boro	0,0514	0,1288	0,1362
Cu - Cobre	-0,0056	0,1997	0,2123
Fe - Ferro	0,0405	0,2125	0,1793
Mn - Manganês	-0,0231	-0,0159	0,3260
Zn - Zinco	0,0423	0,2091	0,1928
Estrutura	0,1539	0,1336	-0,1049
Consistência úmida	-0,0002	-0,0905	-0,1432
Cor úmida Munsell	0,0436	0,0067	-0,2957
Cor Visual	0,0952	-0,2089	-0,0219
Porosidade	0,1795	-0,0467	0,0840
N° Minhocas	-0,0570	-0,0583	0,2095
Camada Compactada	0,1522	-0,1179	0,0884
Cobertura do Solo	0,0512	-0,2029	0,1517

Valores em negrito se referem às variáveis com maior coeficiente associado a cada componente.

A figura 18 apresenta a projeção dos componentes principais 1, 2 e 3, e a dispersão dos tratamentos quando correlacionados a cada componente. Nota-se que MT foi destacado com maior influência do componente principal 1, cujos atributos de maior correlação positiva foram a retenção de água a 0,5 kPa, a porosidade total, e a classe de agregados 6,35 – 4,00 mm. O tratamento PC foi posicionado pela influência dos valores negativos do componente principal 1 (densidade, classe de agregados 1,00 – 0,50 mm), o que pode estar relacionado ao maior revolvimento do solo nesse tratamento com conseqüente degradação dos parâmetros físicos que são os maiores responsáveis na formação do componente 1. Esse fato pode ser também verificado pelas diferenças significativas observadas para esses atributos na análise de variância anteriormente apresentada.

Os tratamentos L1 e L2 foram posicionados, na análise de componentes principais, pela influência dos valores positivos do componente principal 2 para o qual ocorrem parâmetros químicos do solo como ferro, zinco e acidez potencial. A dispersão desses tratamentos está relacionada ao incremento de elementos químicos e o efeito acidificante do lodo aplicado. Verifica-se que L2 apresentou maior destaque influenciado pela maior dose de lodo aplicada a esse tratamento. As correlações negativas destacadas nesse componente posicionaram os tratamentos S, PD20, PD8 e MT.

Em relação ao componente principal 3, as correlações positivas das variáveis manganês, fósforo e agregados da classe 2,00 – 1,00 mm explicam o posicionamento obtido pelos tratamentos. Nota-se novamente maior influência na projeção de L2 e L1, porém pode-se atentar para o tratamento PD8. Em L2 e L1 o incremento de elementos químicos oriundos da aplicação do lodo refletiu em altos teores de manganês e fósforo, como observado também pela análise de variância, fato que projetou desse tratamento em relação ao componente 3. Em PD8, que apresenta solo trafegado por máquinas, o aumento da densidade e por conseqüência na porcentagem de agregados estáveis da classe 2,00 – 1,00 mm foram os responsáveis pelo posicionamento verificado para esse tratamento quanto ao terceiro componente principal. Observa-se para o terceiro componente que o tratamento PC teve influência das correlações negativas com os atributos Aw e cor úmida Munsell.

A análise de componentes principais mostrou-se bastante adequada para separar os tratamentos em função das variáveis de resposta do solo à semelhança do constatado por FERREIRA (2008) que analisou nas mesmas áreas, a influência do manejo na

agregação do solo. De maneira geral, e embora não caracterize por si a qualidade do solo, essa análise permitiu apontar que os atributos físicos do solo, especialmente aqueles relacionados à estrutura, são os que melhor demonstram as alterações provocadas pelos usos e manejos, e, portanto podem ser considerados indicadores de qualidade do solo.

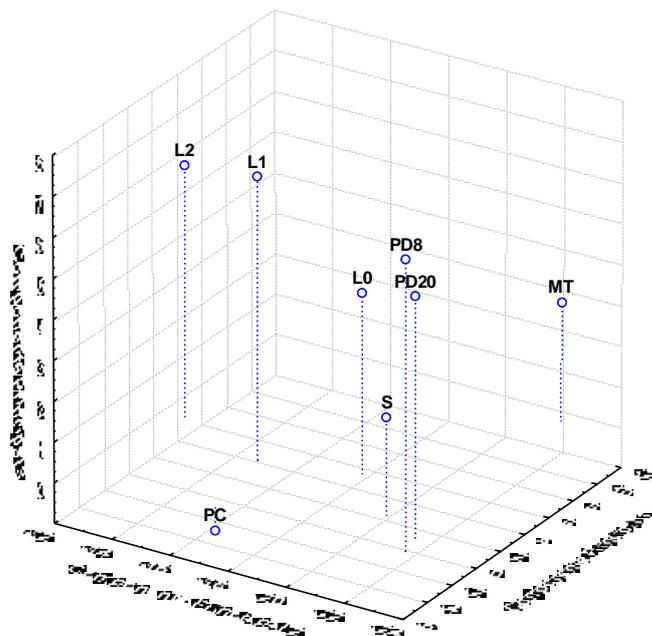


Figura 18 – Projeção dos componentes principais 1, 2 e 3 (com respectivamente 44,0 %, 25,3% e 13,0 % da variação explicada) retidos na análise das 55 variáveis de resposta de um Latossolo Vermelho Distroférico em Campinas, SP, em oito usos e manejos.

MT: Mata Nativa; **S:** Cultura permanente, Seringueira; **PD20:** Cultura anual em sistema plantio direto há vinte anos; **PD8:** Cultura anual em sistema plantio direto há oito anos; **L2:** Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, com 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto; **L1:** Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, com 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto; **L0:** Cultura anual (milho) cultivada em sistema convencional, sem aplicação de lodo de esgoto - testemunha; **PC:** Cultura anual em sistema convencional de plantio.

4.7 Eficiência dos Indicadores Visuais na Avaliação da Qualidade do Solo

Para testar a eficiência da avaliação visual buscou-se fazer correspondência com os resultados obtidos individualmente para os atributos avaliados pelos métodos laboratoriais, considerando a interrelação entre os atributos avaliados por ambos os métodos. A ordenação teórica dos tratamentos sugerida nesse trabalho também serviu de base para a avaliação da metodologia.

Individualmente o indicador visual estrutura do solo apresentou resultado semelhante ao observado na análise de estabilidade de agregados. Como a estrutura é definida como a agregação das partículas primárias do solo em unidades estruturais compostas (LEMOS & SANTOS, 1996) pode-se inferir, visualmente, sobre a agregação do solo. O mesmo comportamento pode ser observado para o indicador visual porosidade com resultados similares entre as metodologias, em geral com diminuição da porosidade em função do aumento na intensidade de manejo.

Embora tenha se mostrado, pelas análises laboratoriais, passível de alterações em função do manejo, visualmente avaliados os indicadores consistência seca e consistência úmida não apresentaram sensibilidade na diferenciação entre os tratamentos no solo investigado não sendo possível também apontá-los como indicadores de qualidade. No entanto, é de se supor que na avaliação de qualidade entre tipos de solo possam constituir um eficiente indicador.

Os tratamentos com maiores teores de matéria orgânica obtidos pela análise química (Tabela 7) apresentaram valores mais elevados para os atributos visuais cor e cobertura do solo (Tabela 8), mostrando a eficiência desses indicadores em demonstrar o incremento de matéria orgânica proporcionado pelos diferentes tratamentos.

No solo investigado nesse trabalho, os indicadores presença de mosqueado e profundidade do solo mostraram-se importantes na atribuição de qualidade ao solo estudado, porém, não apresentaram sensibilidade em diferenciar os manejos. É possível afirmar que esses indicadores são eficientes em classificar a qualidade do solo, independente do manejo, quando comparados diferentes tipos de solo e, portanto, não devem ser descartados em avaliações que busquem atribuir qualidade ao solo agrícola.

A avaliação visual da camada compactada não apresenta, neste trabalho, correspondente avaliado por métodos laboratoriais; no entanto, o método visual de análise utilizado é muito similar ao utilizado tradicionalmente na avaliação do estado de compactação do solo. Foi possível verificar a importância dessa avaliação na atribuição de qualidade e sua eficiência na diferenciação dos manejos investigados alinhando-se com a classificação de qualidade teórica sugerida.

Os resultados analisados nesta discussão evidenciaram que o índice visual da qualidade do solo tem eficiência semelhante à dos métodos analíticos usuais da ciência do solo, exceção feita ao tratamento PD8. O método visual permitiu avaliar adequadamente a qualidade do solo a partir do conjunto de indicadores analisados. Os valores do índice visual mostraram diferenças entre os tratamentos, mas a classificação

visual sugerida foi pouco sensível na diferenciação dos sistemas de usos e manejos, demonstrando que pode ser necessária uma adequação nos valores de classificação para cada condição de solo e clima investigados, sugerindo-se testar a metodologia sob diferentes condições.

Os atributos avaliados pelos métodos laboratoriais, assim como os índices de qualidade obtidos a partir desses atributos, permitiram indicar o decréscimo da qualidade em função do aumento da intensidade de manejo do solo em relação à mata nativa. As avaliações visuais indicaram a mesma tendência de forma mais simples e direta.

Estes resultados tornam evidente que as metodologias testadas estão diferenciando as situações estudadas, possibilitando o uso da metodologia visual por agricultores e técnicos como uma alternativa viável para inferir a qualidade do solo, devido a sua simplicidade nos procedimentos e apresentação dos resultados. Sugere-se porém, a experimentação sob outras condições e um provável ajuste nos valores de classificação antes da completa validação do método.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que:

- a) O uso do método proposto pela avaliação visual do solo constitui uma ferramenta prática e sensível às alterações do manejo embora sua eficiência deva ser confirmada para outros tipos de solo.
- b) Os parâmetros visuais estrutura, cor, porosidade, camada compactada e cobertura do solo apresentam correspondência aos atributos analíticos agregação, porosidade total, densidade e matéria orgânica do solo.
- c) De maneira geral, os índices de qualidade do solo com base em análises laboratoriais discriminam um número maior de classes do que a avaliação visual do solo.
- d) Com base nos dados deste trabalho propõe-se uma classificação visual com quatro classes e os seguintes valores de índice visual:

Classificação Visual	Índice Visual
Muito Boa	> 25,00
Boa	20,00 - 25,00
Moderada	15,00 - 19,99
Pobre	< 15,00

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J.A.; MAFRA, A.L.; FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C.; PASSOS, J.F.M. Avaliação de sistemas de preparo e calagem em um Latossolo Bruno Alumínico. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v.29, p.963-975, 2005.
- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, S.E. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: Efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Campinas, v.19, p.115-119, 1995.
- ALVARENGA, M.I.N.; DAVIDE, A.C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.4, p.933-942, 1999.
- ALVARENGA, R.C.; FERNANDES, B.; SILVA, T.C.A.; RESENDE, M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo e de manejo da palhada do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, p.273-277, 1986.
- ALVES, A.J.O.; RIBEIRO, M.R. Caracterização e gênese dos solos de uma topossequência na microrregião da mata seca de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n.19, p.297-305, 1995.
- AMADO, T.J.C.; CONCEIÇÃO, P.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F. Qualidade do solo avaliada pelo Soil quality kit test em dois experimentos de longa duração no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.109-121, 2007.
- ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTO, V.J.; LEITE, G.B.; KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciências de Solo**, Campinas, v.18, p.139-145, 1994.
- ARAÚJO, A.S.F.; MONTEIRO, R.T.R. Indicadores Biológicos de Qualidade do Solo. **Bioscience Journal**, v.23, n.3, p.66-75, 2007.
- ARAUJO, Q.R.; COSTA, L.M.; JUCKSCH, I.; FONTES, L.E.F.; REGAZZI, A.J. Alterações nas propriedades físicas de um podzólico vermelho-amarelo da região cacauieira da Bahia, sob diferentes coberturas vegetais. **Agrotropica**, Ilhéus, v.10, p.69-78, 1998.
- ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.425-435, 2005.
- AZEVEDO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D. Solos e ambiente: uma introdução. 2.ed. Santa Maria: Editora Pallotti, 2006, 100 p.

BARBOSA, G.M.C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I.C.B. Condutividade hidráulica saturada e não saturada de Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.2, p.403-407, 2004.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.105-112, 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: Santos, G.A.; Camargo, F.A.O. (Eds.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Gênese: Porto Alegre, p.9-26, 1999.

BAYER, C.; SPAGNOLLO, E.; WILDNER, L.P.; ERNANI, P.R.; ALBURQUEQUE, J.A. Incremento de carbono e nitrogênio num latossolo pelo uso de plantas estivais para cobertura do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.3, p.469-475, 2003.

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

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, v.58, n.3, p.555-560, 2001.

BERTONI, J.; LOMBARDI, NETO, F. Conservação do solo. Piracicaba: Livroceres, 1999. 355 p,

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; FREDDI, O.S.; ANDRIOLI, I. Efeito da compactação do solo na estabilidade de agregados e no conteúdo gravimétrico de água. **Acta Science Agronomy**, Maringá, v.27, n.2, p.193-198, 2005.

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

BINGHAM, F.T. Metal toxicity to agricultural crops. In: Sigel, H. (Eds.). Metal ions in biological systems. Marcel Dekker: New York, v.20, p.119-156, 1985.

BINGHAM, F.T.; MITCHELL, G.A.; PAGE, A.L. Cadmium availability rice in sludge amended soils under flood and nonflood culture. **Journal of Environmental Quality**. Madison, v.50, p. 715-8, 1976.

BORGES, E.N.; LOMBARDI NETO, F.; CORRÊA, G.F.; BORGES, E.V.S. Alterações físicas introduzidas por diferentes níveis de compactação em Latossolo Vermelho-Escuro textura média. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.9, p.1663-1667, 1999.

BOTELHO, M.R.; DALMOLIN, R.S.D.; PEDRON, F.A.; AZEVEDO, A.C.; RODRIGUES, R.B.; MIGUEL, P. Medida da cor em solos do Rio Grande do Sul com a carta de Munsell e por colorimetria. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.4, p.1179-1185, 2006.

BRAIDA, J.A.; CASSOL, E.A. Relações da erosão em entressulcos com o tipo e com a quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.711-721, 1999.

CAMARGO, O.A.; 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: Instituto Agronômico, 1986. 94 p. (Boletim técnico, 106)

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.1, p.121-6, 1995.

CARTER, M.R.; GREGORICH, E.G.; ANDERSON, D.W.; DORAN, J.W.; JANZEN, H.H.; PIERCE, F.J. Concepts of soil quality and their significance. In: Gregorich, E.G. and Carter, M.R. (eds.). Soil quality for crop production and ecosystem health. Amsterdam: Elsevier, p.1-19, 1997.

CARTER, M.R. Soil quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. **Agronomy Journal**, Madison, v.94, p.38-47, 2002.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.1, p.99-105, 1990.

CARVALHO, E.J.M.; FIGUEIREDO, M.S.; COSTA, L.M. Comportamento físico-hídrico de um Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.2, p.257-265, 1999.

CARVALHO, F. Atributos bioquímicos como indicadores de qualidade de solo em florestas de *Araucária angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no Estado de São Paulo. 2005. 79 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CASALINHO, H.D.; MARTINS, S.R.; DA SILVA, J.B.; LOPES, A.S. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.13, n.2, p.195-203, 2007.

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

CASTRO, O. M.; CAMARGO, O.A.; CANTARELLA, H.; VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F. Teores de zinco, cobre, manganês e ferro em dois Latossolos sob plantios direto e convencional. **Bragantia**, Campinas, v.51, p.77-84, 1992.

COSTA, E.A.; GOEDERT, W.J.; DE SOUZA, D.M.G. Qualidade do solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.7, p.1185-1191, 2006.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.3, p.527-535, 2003.

CRUZ, C.D. Programa genes: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2001.

D' ANDRÉA, A.F. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no Sul de Goiás. 2001. 104 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

D' ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na Região do Cerrado do Sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.913-923, 2002.

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

DE MARIA, I.C.; KOCSSI, M.A.; DECHEN, S.C.F. Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. **Bragantia**, Campinas, v.66, p.291-298, 2007.

DE MARIA, I.C.; VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F. Análise de parâmetros indicadores da qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ecologia**, Rio Claro, v.1, p.32-34, 1997.

DEXTER, A.R. Strength of soil aggregates and of aggregate beds. In: Drescher, J. and Horn, R. (Eds.). Impact of waters and external forces on soil structure. Hardcover, Catena Supplement 11, v.2, p.35-52, 1988.

DEXTER, A.R. Soil physical quality: Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. Part 1. Geoderma, Amsterdam, 120:201-214, 2004.

DEXTER, A.R.; YOUNGS, I.M. Soil physic toward 2000. Soil and Tillage Research., 24:101-106, 1992.

DIAS JUNIOR, M.S.; ESTANISLAU, W.T. Grau de compactação e retenção de água de latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.45-51, 1999.

DIAS JÚNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Campinas, v.20, n.2, p.175-182, 1996.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bezdicek, D.F.; Stewart, B.A. (Eds.) Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America/American Society of Agronomy, p.3-21, 1994. (SSSA Special Publication, 35)

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

DOURADO NETO, D.; JONG VAN LIER, Q.; BOTREL, T. A.; LIBARDI, P.L. Programa para confecção da curva de retenção de água no solo utilizando o modelo de Van Genuchten. **Engenharia Rural**, v.1, p.92-102, 1991.

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

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGOPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. (editores técnicos, Humberto Gonçalves dos Santos et al.) – 2. edição. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006, 306 p.

FACCI, L.D. Variáveis microbiológicas como indicadoras da qualidade do solo sob diferentes usos. 2008. 95f. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação – Instituto Agrônômico.

FERNANDEZ, R.N.; SCHULZE, D.G. Munsell colors of soils simulated by mixtures of goethite and hematite with kaolinite. *Zeitschrift. Pflanzenernähr Bodenk*, 155:473-478, 1992.

FERNANDEZ, R.N.; SCHULZE, D.G.; COFFIN, D.L.; VAN SCOYOC, G.E. Color, organic matter, and pesticide adsorption relationships in a soil landscape, **Soil Science Society of America Journal**. n.52, p.1023-1026, 1988.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema para análise de variância) para Windows versão 4.0. In: Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria, 45. São Carlos, 2000. Anais. São Carlos, Universidade de São Carlos, 2000. p.255-258.

FERREIRA, G.M. Atividade microbiana e agregação de um Latossolo Vermelho Distroférrico em Campinas, SP, sob usos e manejos distintos. 2008. 70f. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação – Instituto Agrônômico.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; SCAPIM, C.A. Espacialização vertical e horizontal dos indicadores de qualidade para um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.9-19, 2007.

GARLYND, M.J.; ROMIG, D.E.; HARRIS, R.F.; KURAKOV, A.V. Descriptive and analytical characterization of soil quality/health. In: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bezdicsek, D.F.; Stewart, B.A. (eds). Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.159-168. (Special publication, 35)

GOEDERT, W.J.; SCHERMACK, M.J.; FREITAS, F.C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v.37, p.223-227, 2002.

GOMES, M.A.F.; FILIZOLA, H.F. Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola. Embrapa meio ambiente, Jaguariúna, 2006. .8p.

GROHMANN, F. RAIJ, B. van. Influência dos métodos de agitação na dispersão da argila do solo. In: Anais do XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 14., 1973. Anais, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1973. p. 123-132,

GUEVARA, S. L. Quantidades de palha e sua influência no controle da erosão e na qualidade do Latossolo Vermelho em sistema semeadura direta em Campinas, SP. 2007. 99 f.(Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação – Instituto Agrônômico.

HARRIS, R.F.; KARLEN, D.L.; MULLA, D.J. A conceptual framework for assessment and management of soil quality and health. In: Doran, J.W, and Jones, A.J. (eds). Methods for assessing soil quality. Madison : Soil Science Society of America, 1996. p.61-82. (SSSA Special Publication, 49)

HOUSKOVA, B. Avaliação visual do solo Europeu: guia de campo. http://eusoiils.jrc.it/events/SummerSchool_2005/cd_rom/SS2005_Files/Other/VSA_ESS_05-2.pdf (29 janeiro 2009).

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystem Environment**, Amsterdam, v. 79, p.9-16, 2000.

KARLEN, D.L.; STOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bzedicek, D.F.; Stewart, B.A., (Eds.). Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.53-72. (Special Publication, 35)

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

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

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: Black, C.A.; Evans, D.D.; White, J.L.; Ensminger, L.E.; Clark, F.E. (Eds.). *Methods of soil analysis – Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510. (Agronomy Series, 9)

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Consistência de um latossolo roxo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición vegetal**, Temuco, v.1, n.1, p.54-58, 2001.

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bzedicek, D.F.; Stewart, B.A. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, p.37-52. (Special Publication, 35), 1994.

LE BISSONNAIS, Y. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I - Theory and methodology. **European Journal of Soil Science**, v.47, p.425-437, 1996.

LE MOS, R.C.; SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 4ª ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001. 86 p.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, Boca Raton, v.1, p.277-294, 1985.

LIMA, C.L.R.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; SILVA, J.B. Estabilidade de agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.199-205, 2003.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. Interpretação de análise do solo: conceitos e aplicações. São Paulo: ANDA. 1992. 37 p. (Boletim técnico, 2)

LOPES, P.R.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, p.71-75, 1987a.

MACHADO, J.A.; BRUM, A.C.R. Efeitos de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.2, n.2, p. 81-84, 1978.

MÁRQUEZ, C.O.; GARCIA, V.J.; CAMBARDELLA, C.A.; SCHULTZ, R.C.; ISENHART, T.M. Aggregate-size stability distribution and soil stability. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.68, p.725-735, 2003.

MELFI, A.J.; PEDRO, G. Considerações sobre os mecanismos geoquímicos envolvidos na alteração superficial e sua repartição no Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.8, p.1-22, 1978.

MELFI, A.J.; PEDRO, G. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Caracterização e repartição dos principais tipos de evolução pedogeoquímica. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.7, p.271-286, 1977.

MELLONI, R. Densidade e diversidade de bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos arbusculares em solos de mineração de bauxita. 2001. 173p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

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

MENDES, I.C.; SOUZA, L.V.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.435-443, 2003.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: Curi, N.; Marques, J.J.; Guilherme, L.R.G.; Lima, J.M.; Lopes, A.S.; Alvarez, V.H. (eds). Tópicos em ciência do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.3, p.209-248, 2003.

MOREIRA, J.A.A.; MENEGUCI, J.L.P.; CARVALHO, M.T.M.; STONE, L.F. Qualidade física de latossolo cultivado com citros na região do triângulo mineiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 20 e ANNUAL MEETING OF THE INTERAMERICA SOCIETY FOR TROPICAL HORTICULTURE, 54., Vitória, ES, outubro de 2008.(CD- ROM)

MORRISON, D.F. Multivariate statistical methods. New York:McGraw-Hill. 1976. 415p

NIELSEN, M.N.; WINDING, A. Microorganisms as indicators of soil health. Denmark: National Environmental Research Institute, 2002. 84p. (Technical Report, 388)

NORTCLIFF, S. Standardisation of soil quality attributes. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.88, p.161-168, 2002.

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

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.327-336, 2004.

OLIVEIRA, I. P.; KLUTHCOUSKI, J.; SANTOS, R.S.M. Manejo do solo e suas relações com a acidez e a disponibilidade de micronutrientes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v.29, p.19-25, 1999.

OLIVEIRA, J. B.; LIER, Q. van; NIESTEN, B. Levantamento pedológico detalhado do Centro Experimental de Campinas. Campinas. Instituto Agrônomo. (no prelo). (Boletim científico, Série Pesquisa APTA)

OLIVEIRA, J.O.A.P.; VIDIGAL FILHO, P.S.; TORMENA, C.A.; PEQUENO, M.G.; SCAPIM, C.A.; MUNIZ, A.S.; SAGRILO, E. Influência de sistemas de preparo do solo na produtividade da mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.443-450, 2001.

OTTONI FILHO, T. B. Uma classificação físico-hídrica dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.2, p.211-222, 2003.

PANKHURST, C.E.; KIRKBY, C.A.; HAWKE, B.G. Impact of a change in tillage and crop residue management practice on soil chemical and microbiological properties in a cereal-producing red duplex soil in NSW, Australia. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.35, p.189-196, 2002.

PIGOZZO, A.T.J.; LENZI, E.; JÚNIOR, J. L.; SCAPIM, C.A.; VIDIGAL FILHO, P.S.; COSTA, A.C.S. Reação do solo e disponibilidade de micronutrientes, em solo de textura média, tratado com lodo de esgoto e cultivado com milho. **Acta Scientiarum – Agronomy**, Maringá, v.30, n.4, p.569-579, 2008.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. Estatística aplicada a experimentos agrônomicos e florestais: Exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p. (Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz, 11)

PRADO, H.; A Pedologia Simplificada. In: POTAFOS. Arquivo do Agrônomo. n.1, 1995. 16p.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA H.; QUAGGIO, J.A. Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001, 285 p.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A; FURLANI, A. M. (Eds.). Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo, 1996. 285 p. (Boletim técnico, 100)

REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; CABEDA, M.S.V. Índices de estabilidade de agregados e suas relações com características e parâmetros do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p.283-290, 1993.

REICHERT, J.M.; NORTON, L.D. Aggregate stability and rain - impacted sheet erosion of air dried and prewetted clayed surface soils under intense rain. **Soil Science**, Baltimort, v.158, p.159-169, 1994.

REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TAN, C.S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, Amsterdam v.110, p.131-146, 2002.

RIBEIRO, A.M.B. Indicadores químicos e microbiológicos de qualidade do solo em ambientes naturais e antropizados do complexo vegetacional de Campo Maior – PI. 2007. 51 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Piauí, Teresina.

ROMIG, D.E.; GARLYND, M.J.; HARRIS, R.F.; McSWEENEY, K. How farmers assess soil health and quality. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.50, p.229-236, 1995.

ROSOLEN, C.A.; ALMEIDA, A.C.S.; SACRAMENTO, L.V.S. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, Campinas, v.53, p.259-266, 1994.

ROSOLEM, C.A.; FERNANDEZ, E.M.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C.A.C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, p.821-828, 1999.

SANCHES, A.C.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; RIGOLIN A.T. Impacto do cultivo de citros em propriedades químicas, densidade do solo e atividade microbiana de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.91-99, 1999.

SARRANTONIO, M; DORAN, J.W.; LIEBIG, M.A.; HALVORSON, J.J. On-farm assessment of soil quality and health. In: Doran, J.W. and Jones, A.J. (eds). *Methods for assessing soil quality*. Madison, Soil Science of America, p.83-105, 1996. (Special Publication, 49)

SCHULZE, D.G.; NAGEL, J.L.; SCOYOC, G.E. Van; HENDERSON, T.L.; BAUMGARDNER, M.F. National Soil Erosion Research Laboratory: Significance of Organic Matter in Determining Soil Colors. Soil color. Madison: Soil Science Society of America, 1993. p.71-89. (SSSA, Special Publication, 31)

SECCO, D.; DA ROS, C.O.; FIORIN, J.E.; PAUTZ, C.V.; PASA, L. Efeito de sistemas de manejo nas propriedades físicas de um latossolo vermelho-escuro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.27, n.1, p.57-60, 1997.

SENA, M.M.; FRIGHETO, R.T.S.; VALARINI, P.J.; TOKESHI, H.; POPPI, R.J. Discrimination of management effects on soil parameters by using principal component analysis: a multivariate analysis case study. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam v.67, p.171-181, 2002.

SETZER, J. Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo. São Paulo, Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguaí. CESP, 1966. 61 p.

SHEPHERD, T.G. **Visual Soil Assessment** (Volume 1) - Field guide for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country. Horizons.mw & Landcare Research, Palmerston North, 84 p. 2000.

SILVA, F.F.; FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; ARATANI, R.G.; ANDRIOLI, F.F.; ANDRIOLI, I. Propriedades físicas de um latossolo vermelho cultivado no sistema plantio direto. **Irriga**, Botucatu, v.13, n.2, p.191-204, 2008.

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**, Campinas, v.21, p.113-117, 1997.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.2, p.311-317, 1998.

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; BLANCANEAU, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de latossolo roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.12, p.2485-2492, 2000.

SILVA, M.S.L.; RIBEIRO, M.R. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em propriedades morfológicas e físicas de solos argilosos de tabuleiro no estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.397-402, 1992.

SILVA, R.R.; SILVA, M.L.N.; FERREIRA, M.M. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na bacia do alto do Rio Grande - MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, n.4, p.719-730, 2005.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.191-199, 2000.

SINGER, M.J.; EWING, S. Soil quality. In: Summer, M.E. (Eds.). *Handbook of soil science*. New York: CRC Press, 2000. Section G, p.271-298.

SOANE, B.D., OUWERKERK, C. van. Soil compaction problems in world agriculture. In: Soane, B.D.; Ouwerkerk, C. Van. (Eds.). *Soil compaction in crop production*. Netherlands: Elsevier, 1994. p.1-21,

SOANE, B.D. The role of organic matter in soil compactability: a review of some practical aspects. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam v.16, p.179-201, 1990.

SOJKA, R.E.; UPCHURCH, D.R. Reservations regarding the soil quality concept. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.63, p.1039-1054, 1999.

SOUZA, C.M.A.; RAFULL, L.Z.L.; VIEIRA, L.B. Determinação do limite de liquidez em dois tipos de solo, utilizando-se diferentes metodologias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.460-464, 2000.

SOUZA, L. da S.; SOUZA, L.D.; SOUZA, L.F. da S. Indicadores Físicos e químicos de qualidade do solo sob o enfoque de produção vegetal: estudo de caso para citros em solos coesos de tabuleiros costeiros. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29, Ribeirão Preto, p.26, 2003. Anais em CDROM. Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e UNESP, 2003.

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

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Atributos físicos-hídricos de um latossolo vermelho submetido a diferentes preparos e rotações de cultura. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 33., São Pedro, 2004. (CD-ROM).

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.395-401, 2001.

SWAN, J.B.; MONCRIEF, J.F.; VOORHEES, W.B. Soil compaction: causes, effects and control. Minneapolis: Minesota Extension Service, 1987. 11p. (Bulletin, 3115)

TABACHNICK, B.G.; FIDELL, L.S. Using multivariate statistics. 5.ed. Boston: Pearson Allyn & Bacon. 2007. 980 p.

TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M.F.; MEDINA, C.C.; BALBINO, L.C.; NEVES, C.S.V.J. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.393-399, 1999.

THOMASSON, A.J. Towards and objective classification of soil structure. **The Journal of Soil Science**, Oxford, v.29, p.38-46, 1978.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **The Journal of Soil Science**, Oxford, v.33, p.141-163, 1982.

TOPP, G.C.; ZEBCHUK, W. The determination of soil-water desorption curves for soil cores. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.59, p.19-26, 1979.

TORMENA, C.A.; ROLLOF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, p.333-339, 1996.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.573-581, 1998.

TORRENT, J.; BARRÓN, V. Laboratory measurement of soil color: theory and practice. Soil color. Madison: Soil Science Society of Agronomy, 1993. p. 21-33. (SSSA, Special Publication, 31)

USDA. **Guidelines for soil quality assessment in conservation planning**. NRCS/Soil Quality Institute. 2001. http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/sq_assessment_cp.pdf, (04 Fevereiro 2009).

USDA-ARS. Soil quality test kit guide. Washington, Soil Quality Institute, 82 p, 1998.

VALPASSOS, M.A.R.; CAVALCANTE, E.G.S.; CASSIOLATO, A.M.R.; ALVES, M.C. Effects of soil management systems on soil microbial activity, bulk density and chemical properties. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.12, p.1539-1545, 2001.

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

VEZZANI, F.M. Qualidade do sistema solo na produção agrícola. 2001. 184 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VIEIRA, M.J.; MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.7, p.873-882, 1995.

VISUAL SOIL ASSESSMENT. Väderstad and Soil Management Initiative. Väderstad, s.d, 21p, download em http://www.potato.org.uk/media_files/campaigns_kt/vsa.pdf, (03 Janeiro 2008).

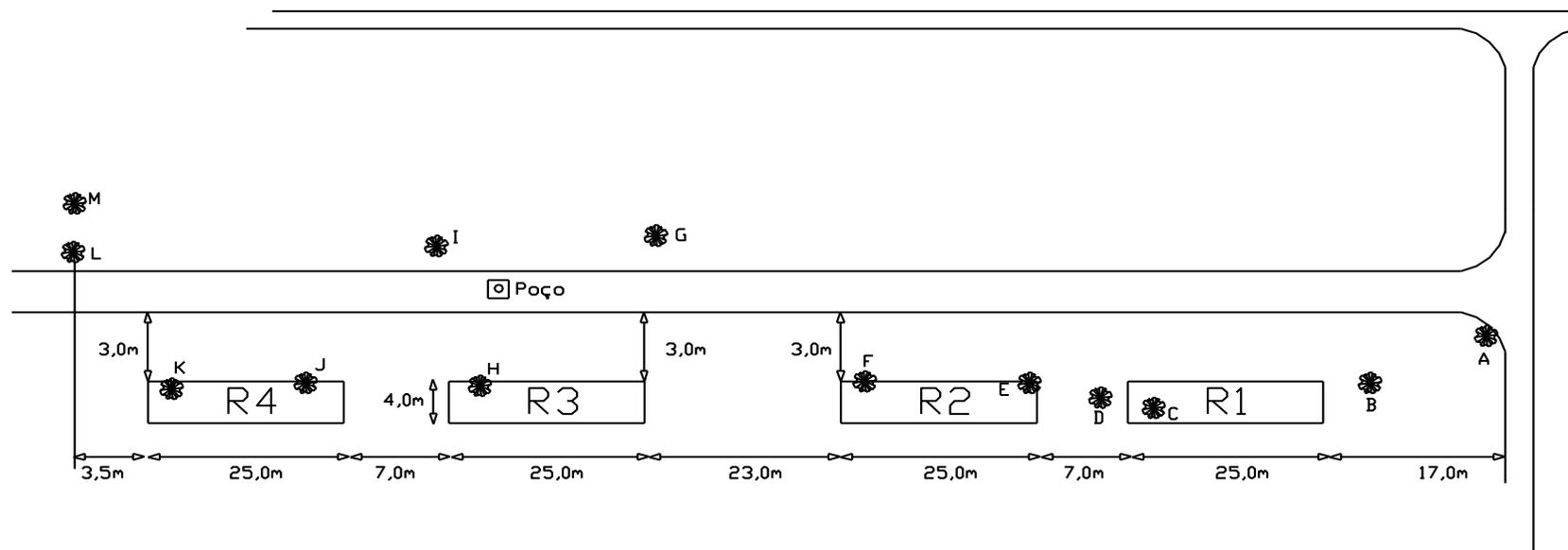
WANDER, M.M.; DRINKWATER, L.E. Fostering soil stewardship through soil quality assessment. **Applied Soil Ecology**, v.15, p.61-73, 2000.

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

WISCHMEIER, W. H. Surface runoff in relation to physical and management factors. In: Panamerican Soil Conservation Congress, 1., 1966, São Paulo. Proceedings São Paulo: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1966. p. 237-244.

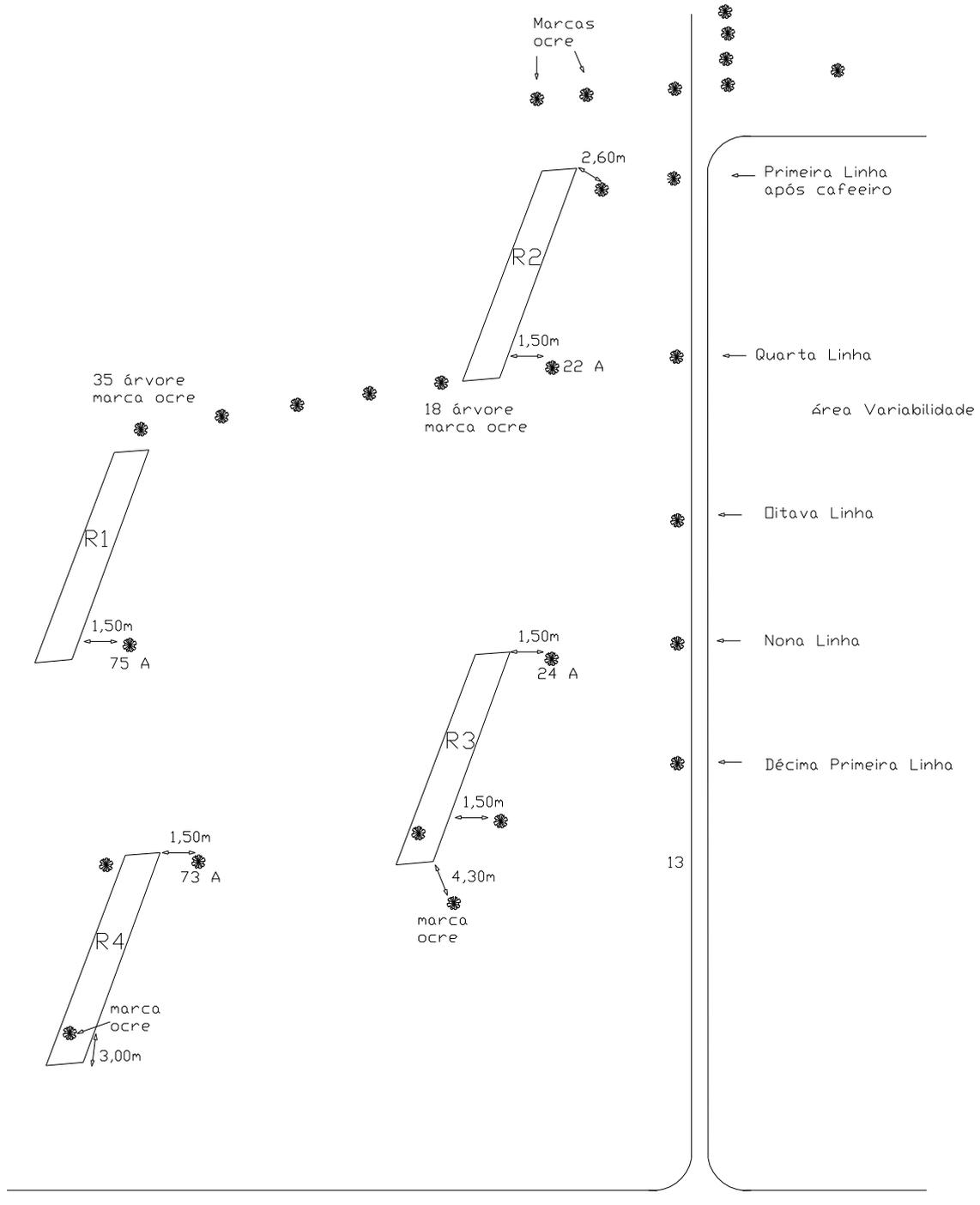
7 Anexos

Anexo 1 - Croqui usado na demarcação das parcelas no tratamento MT utilizando-se das próprias árvores (nativas diversas) como pontos referenciais para as parcelas que foram definidas lado a lado.

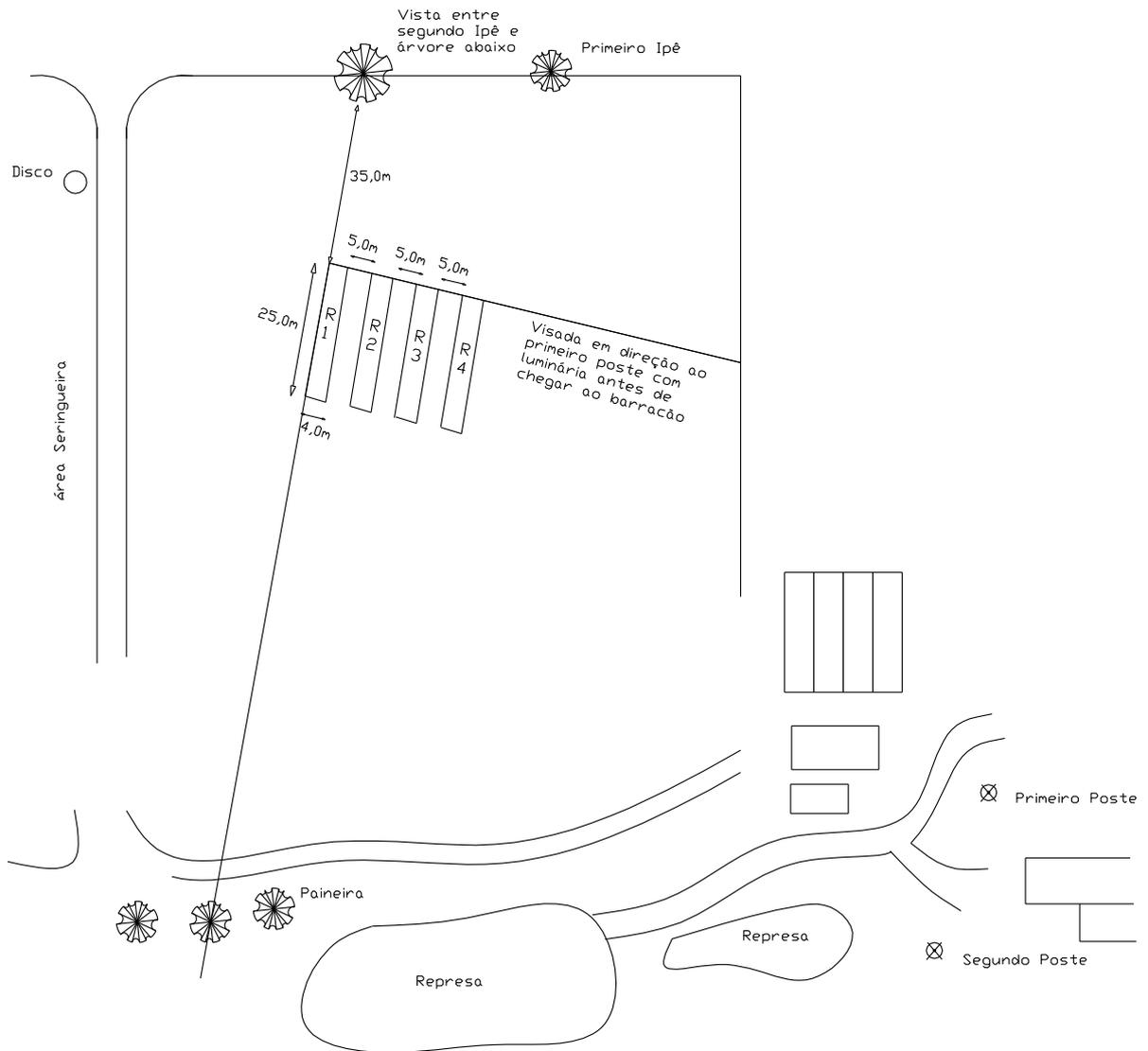


- Árvores
- A - Esp. Arbórea
 - B - Esp. Arbórea
 - C - Esp. Arbórea
 - D - Esp. Arbórea
 - E - Pau Jacaré
 - F - Esp. Arbórea
 - G - Guapuruvu
 - H - Jequitibá
 - I - Pau Jacaré
 - J - Aroeira
 - K - Folha Longa
 - L - Guapuruvu
 - M - Guapuruvu

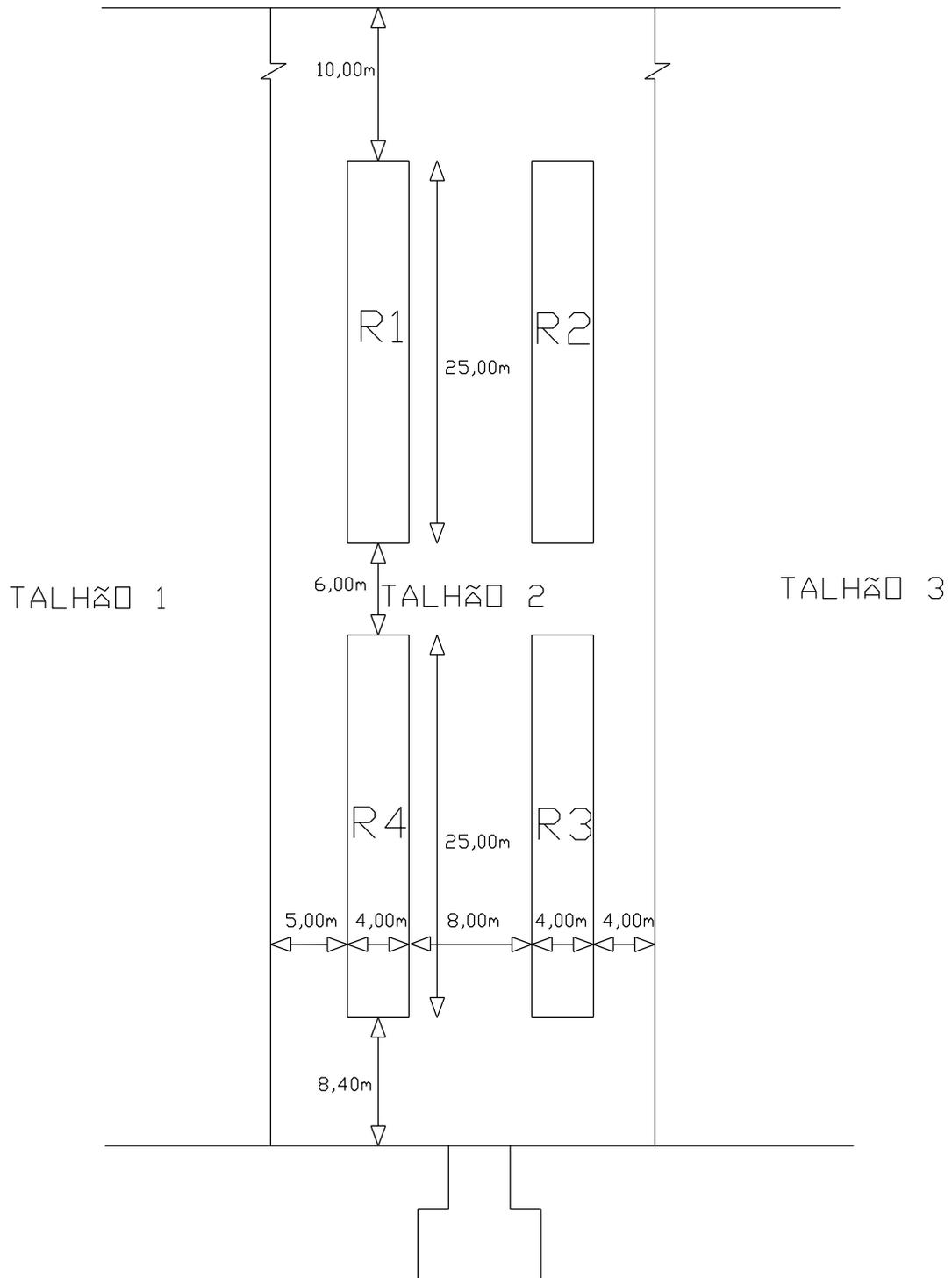
Anexo 2 - Croqui usado na demarcação das parcelas no tratamento S utilizando-se das próprias árvores (seringueiras) como pontos referenciais para as parcelas que foram definidas de modo que no seus comprimentos fossem perpendiculares as entrelinhas de cultivo.



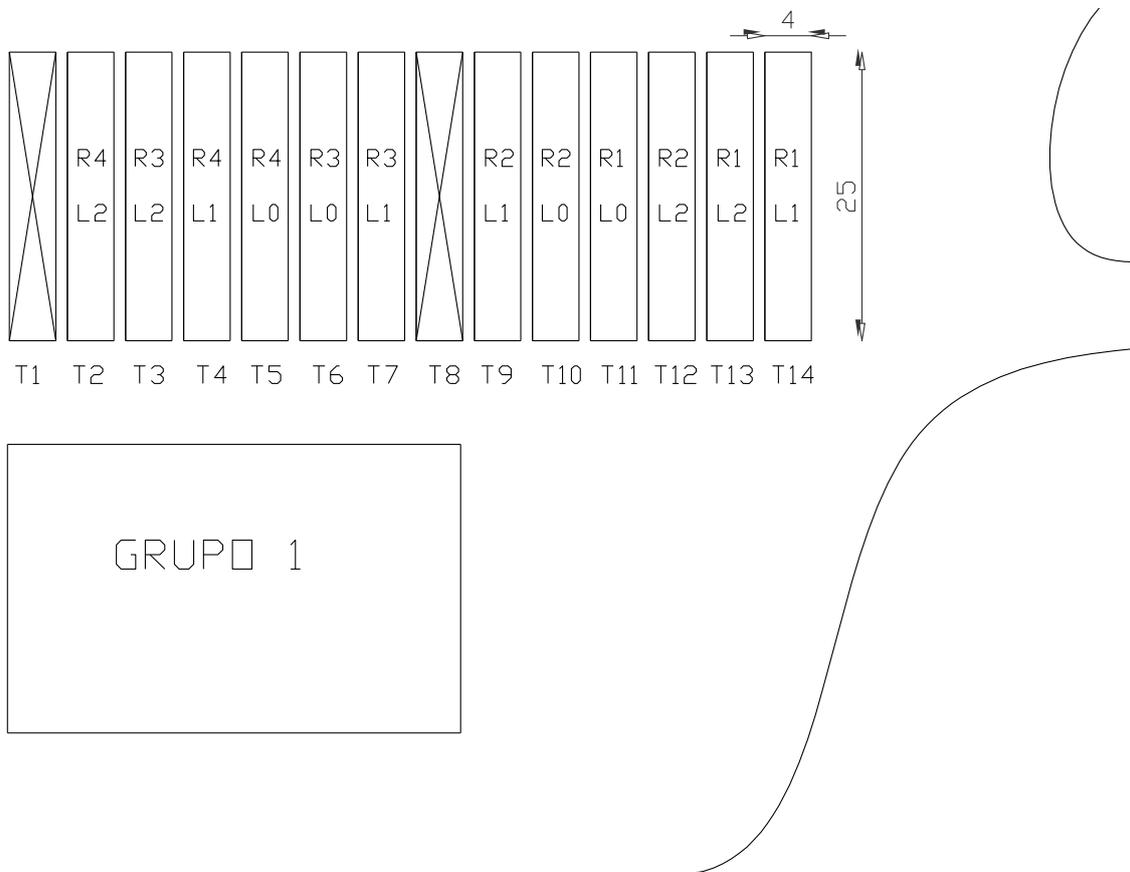
Anexo 3 - Croqui usado na demarcação das parcelas do tratamento PD20 utilizando-se de duas linhas limites, definidas por meio de visadas referenciadas em pontos fixos (postes e árvores), distribuindo-se as parcelas lado a lado.



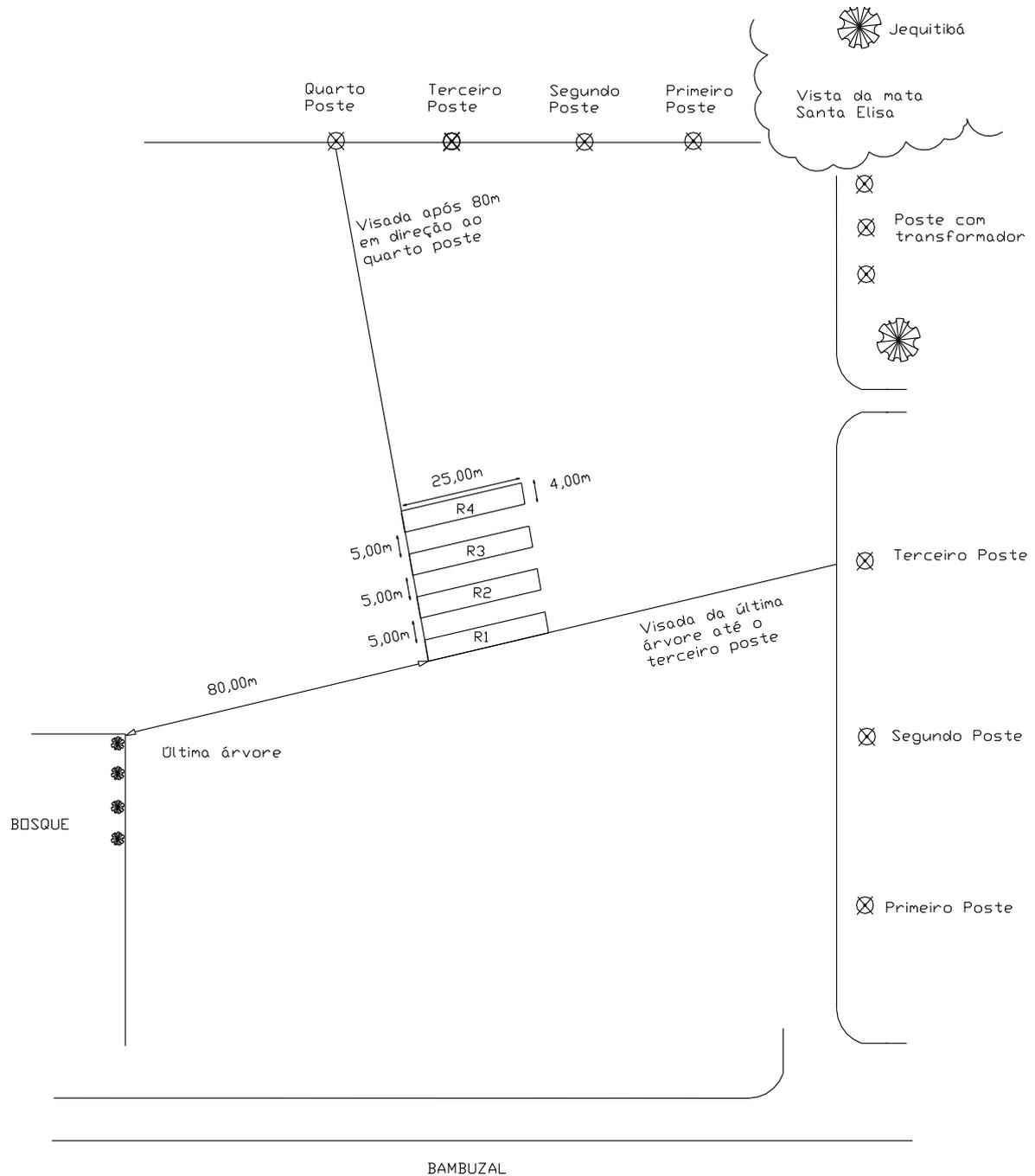
Anexo 4 - Croqui usado na demarcação das parcelas no tratamento PD8 utilizando-se um pequeno muro que delimita a área do tratamento como referência para locar as parcelas.



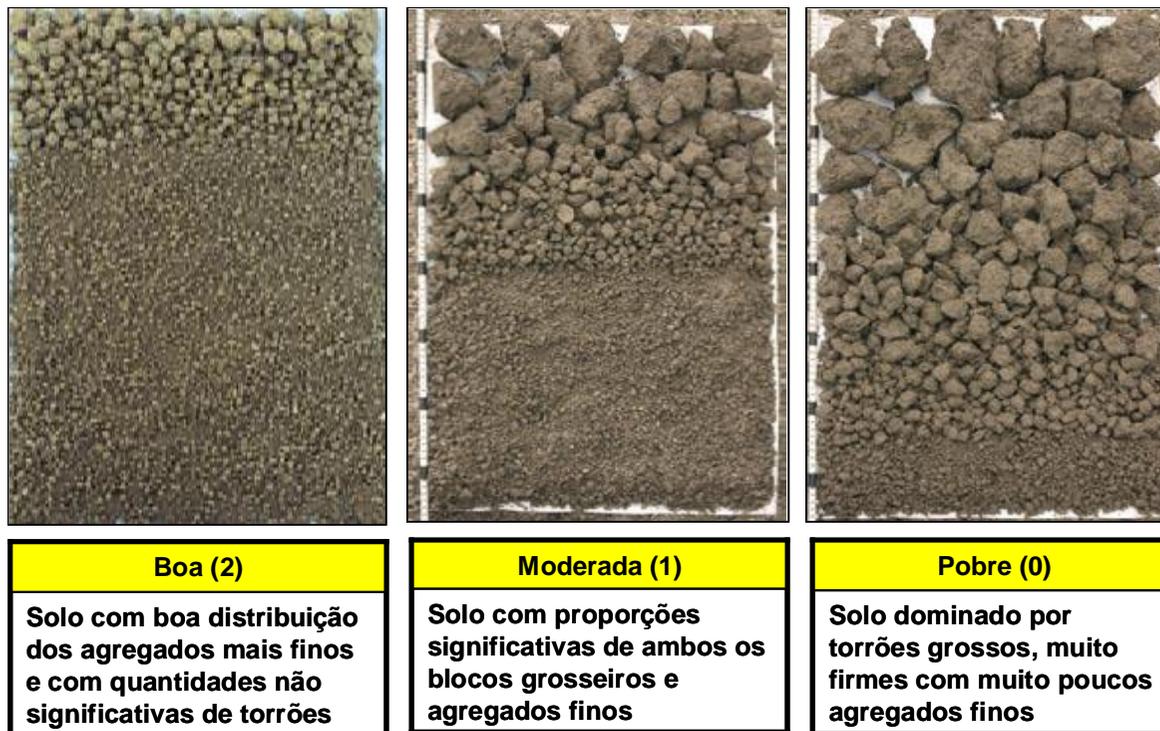
Anexo 5 - Croqui das parcelas permanentes de 4 m x 25 m para coleta de terra e água por erosão com tratamentos com lodo de esgoto L0, L1 e L2.



Anexo 6 - Croqui usado na demarcação das parcelas do tratamento PC utilizando-se de duas linhas limites, definidas por meio de visadas referenciadas em pontos fixos (postes e árvores), distribuindo-se as parcelas lado a lado.



Anexo 7 - Fotografias do manual de campo usadas na avaliação visual da estrutura do solo.



Fonte: VISUAL SOIL ASSESSMENT (s.d.)

Anexo 8 - Fotografias do manual de campo usadas na avaliação visual da porosidade do solo.

		
Boa (2)	Moderada (1)	Pobre (0)
Solos com muitos macroporos entre e dentro dos agregados associados a uma boa estrutura do solo	Solos com macroporos em quantidade pouco significativa, tanto entre como dentro dos agregados, mostrando pequena compactação	Solo sem macroporos aparentes, com visível ocorrência de compactação, superfície lisa com poucas rachaduras ou furos e pode ter ângulos acentuados

Fonte: VISUAL SOIL ASSESSMENT (s.d.)

Anexo 9 - Fotografias do manual de campo usadas na avaliação visual da cor do solo.

		
Boa (2)	Moderada (1)	Pobre (0)
Solo escuro sem diferença significativa para a testemunha	A cor do solo é mais clara em relação a testemunha, porém não tão acentuada	A cor do solo é significativamente mais clara em comparação à testemunha

Fonte: VISUAL SOIL ASSESSMENT (s.d.)

Anexo 10 - Fotografias do manual de campo usadas na avaliação visual da cobertura do solo.



Boa (2)

Superfície do solo apresenta-se totalmente coberta por resíduos vegetais



Moderada (1)

Superfície do solo parcialmente coberta por resíduos vegetais



Pobre (0)

Superfície do solo com ausência de resíduos

Fonte: SHEPHERD (2000)

Anexo 11 - Fotografias do manual de campo usadas na avaliação visual da presença de camada compactada no solo.



Boa (2)

Perfil friável, com manifestação de porosidade por toda a sua extensão, não sendo possível verificar a influência do manejo causando compactação



Moderada (1)

Perfil com camada compactada moderadamente desenvolvida, não sendo evidentes as zonas de compactação, mostrando-se mais homogêneo, com fissuras e alguns microporos



Pobre (0)

Perfil mostrando severa compactação, de muito firme a dura, desenvolvida por influência do preparo superficial; não é visível a presença de macroporos

Fonte: VISUAL SOIL ASSESSMENT (s.d.)

Anexo 12 - Planilhas de campo usadas na valoração dos atributos de qualidade visual do solo para cada tratamento e repetição juntamente com o índice e a classificação visual.

Tratamento 1 - Mata Nativa (MT)											
Atributos do Solo	Avaliação Visual				Média	Peso	Avaliação Visual Ponderada				Média
	R1	R2	R3	R4			R1	R2	R3	R4	
Estrutura do Solo	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Porosidade do Solo	2.00	2.00	2.00	1.50	1.88	2.00	4.00	4.00	4.00	3.00	3.75
Cor do Solo	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Mosqueado	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Contagem de Minhocas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Camada Compactada	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Cobertura do Solo	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Profundidade do solo	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Índice Visual							28.00	28.00	28.00	27.00	27.75
Classificação Visual							Boa	Boa	Boa	Boa	Boa

Tratamento 2 - Seringueira (S)											
Atributos do Solo	Avaliação Visual				Média	Peso	Avaliação Visual Ponderada				Média
	R1	R2	R3	R4			R1	R2	R3	R4	
Estrutura do Solo	1.50	1.50	1.50	2.00	1.63	3.00	4.50	4.50	4.50	6.00	4.88
Porosidade do Solo	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cor do Solo	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	2.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Mosqueado	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Contagem de Minhocas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Camada Compactada	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.00	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Cobertura do Solo	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Profundidade do solo	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Índice Visual							22.00	22.00	22.00	23.50	22.38
Classificação Visual							Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada

Tratamento 3 - Plantio Direto há 20 anos (PD20)											
Atributos do Solo	Avaliação Visual				Média	Peso	Avaliação Visual Ponderada				Média
	R1	R2	R3	R4			R1	R2	R3	R4	
Estrutura do Solo	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	3.00	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50
Porosidade do Solo	0.50	0.50	1.00	1.00	0.75	2.00	1.00	1.00	2.00	2.00	1.50
Cor do Solo	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	2.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Mosqueado	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Contagem de Minhocas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Camada Compactada	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cobertura do Solo	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Profundidade do solo	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Índice Visual							21.50	21.50	22.50	22.50	22.00
Classificação Visual							Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada

R1, R2, R3 e R4 – são respectivamente repetição 1, repetição 2, repetição 3 e repetição 4

Continua...

Anexo 12 – Continuação...

Tratamento 4 - Plantio Direto há 8 anos (PD8)												
Atributos do Solo	Avaliação Visual				Média	Peso	Avaliação Visual Ponderada				Média	
	R1	R2	R3	R4			R1	R2	R3	R4		
Estrutura do Solo	1.50	1.00	1.50	2.00	1.50	3.00	4.50	3.00	4.50	6.00	4.50	
Porosidade do Solo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	
Cor do Solo	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	2.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	
Mosqueado	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	
Contagem de Minhocas	0.00	1.00	1.00	0.00	0.50	2.00	0.00	2.00	2.00	0.00	1.00	
Camada Compactada	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Cobertura do Solo	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	
Profundidade do solo	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
Índice Visual							22.50	23.00	24.50	24.00	23.50	
Classificação Visual							Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	

Tratamento 5 - Lodo 20 t ha ⁻¹ (L2)												
Atributos do Solo	Avaliação Visual				Média	Peso	Avaliação Visual Ponderada				Média	
	R1	R2	R3	R4			R1	R2	R3	R4		
Estrutura do Solo	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	
Porosidade do Solo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	
Cor do Solo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	
Mosqueado	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	
Contagem de Minhocas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Camada Compactada	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Cobertura do Solo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	
Profundidade do solo	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
Índice Visual							20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	
Classificação Visual							Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	

Tratamento 6 - Lodo 10 t ha ⁻¹ (L1)												
Atributos do Solo	Avaliação Visual				Média	Peso	Avaliação Visual Ponderada				Média	
	R1	R2	R3	R4			R1	R2	R3	R4		
Estrutura do Solo	2.00	1.50	1.50	1.50	1.63	3.00	6.00	4.50	4.50	4.50	4.88	
Porosidade do Solo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	
Cor do Solo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	
Mosqueado	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	
Contagem de Minhocas	0.00	0.00	0.00	1.00	0.25	2.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.50	
Camada Compactada	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Cobertura do Solo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	
Profundidade do solo	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
Índice Visual							20.00	18.50	18.50	20.50	19.38	
Classificação Visual							Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	

R1, R2, R3 e R4 – são respectivamente repetição 1, repetição 2, repetição 3 e repetição 4

Continua...

Anexo 12 - Conclusão

Tratamento 7 - Lodo 0 t ha ⁻¹ (L0)											
Atributos do Solo	Avaliação Visual				Média	Peso	Avaliação Visual Ponderada				Média
	R1	R2	R3	R4			R1	R2	R3	R4	
Estrutura do Solo	2.00	1.50	1.50	2.00	1.75	3.00	6.00	4.50	4.50	6.00	5.25
Porosidade do Solo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Cor do Solo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Mosqueado	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Contagem de Minhocas	0.00	1.00	0.00	0.00	0.25	2.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.50
Camada Compactada	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cobertura do Solo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Profundidade do solo	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Índice Visual							20.00	20.50	18.50	20.00	19.75
Classificação Visual							Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada

Tratamento 8 - Plantio Convencional (PC)											
Atributos do Solo	Avaliação Visual				Média	Peso	Avaliação Visual Ponderada				Média
	R1	R2	R3	R4			R1	R2	R3	R4	
Estrutura do Solo	1.50	1.50	2.00	2.00	1.75	3.00	4.50	4.50	6.00	6.00	5.25
Porosidade do Solo	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cor do Solo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Mosqueado	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Contagem de Minhocas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Camada Compactada	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cobertura do Solo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Profundidade do solo	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Índice Visual							13.50	13.50	15.00	15.00	14.25
Classificação Visual							Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada

R1, R2, R3 e R4 – são respectivamente repetição 1, repetição 2, repetição 3 e repetição 4

Anexo 13 - Quadro geral dos atributos analisados por meio da correlação linear simples em oito usos e manejos e as respectivas repetições.

Tratamentos		Argila	Silte	Areia Total	Areia Grossa	Areia Fina	Classe de Agregados (mm)								
							9,52 - 7,93	7,93 - 6,35	6,35 - 4,00	4,00 - 2,00	2,00 - 1,00	1,00 - 0,50	< 0,50	9,52 - 4,00	< 2,00
-----g kg ⁻¹ -----							-----%-----								
MT = Mata Nativa	R1	454	135	412	275	137	4.0	14.7	24.1	29.8	11.4	7.8	8.2	42.7	27.4
MT = Mata Nativa	R2	497	121	382	250	133	11.5	15.5	30.0	29.6	6.1	3.6	3.7	57.0	13.4
MT = Mata Nativa	R3	511	106	383	271	112	8.9	15.6	29.1	30.6	6.6	3.6	5.6	53.6	15.9
MT = Mata Nativa	R4	524	114	362	229	132	12.2	18.2	23.4	33.0	6.5	3.4	3.2	53.9	13.1
S = Seringueira	R1	646	104	251	148	102	3.8	5.0	10.6	20.3	17.4	18.0	24.8	19.4	60.3
S = Seringueira	R2	625	110	265	162	103	4.9	10.2	15.4	29.8	13.9	11.6	14.2	30.5	39.7
S = Seringueira	R3	637	99	264	164	100	1.3	3.2	4.5	15.7	16.9	21.8	36.8	8.9	75.4
S = Seringueira	R4	647	81	273	173	100	17.5	16.5	19.1	22.0	9.1	7.5	8.2	53.1	24.9
PD20 = Plantio Direto há 20 anos	R1	598	121	281	157	124	9.4	8.1	9.6	20.9	17.4	16.1	18.6	27.1	52.0
PD20 = Plantio Direto há 20 anos	R2	610	106	284	181	102	0.9	3.6	8.5	29.4	23.2	16.2	18.2	13.0	57.5
PD20 = Plantio Direto há 20 anos	R3	642	118	240	138	103	4.8	4.3	7.3	16.4	21.2	20.3	25.8	16.4	67.2
PD20 = Plantio Direto há 20 anos	R4	631	126	243	138	104	2.2	4.4	8.8	25.7	21.2	17.0	20.6	15.4	58.8
PD8 = Plantio Direto há 8 anos	R1	600	115	285	167	118	0.6	1.0	3.7	14.6	21.5	24.1	34.5	5.3	80.1
PD8 = Plantio Direto há 8 anos	R2	597	126	277	151	127	2.7	3.1	5.3	15.3	20.9	21.9	30.8	11.1	73.5
PD8 = Plantio Direto há 8 anos	R3	611	108	281	164	117	0.0	0.5	3.7	17.2	26.0	24.1	28.5	4.2	78.6
PD8 = Plantio Direto há 8 anos	R4	626	115	259	157	102	0.4	2.1	4.3	14.9	23.3	23.8	31.2	6.9	78.2
L2 = Lodo 20 t ha ⁻¹	R1	480	98	422	272	150	0.0	1.7	7.4	27.0	18.0	16.3	29.6	9.1	63.9
L2 = Lodo 20 t ha ⁻²	R2	492	93	415	258	157	0.0	2.3	7.5	23.7	15.6	15.6	35.3	9.8	66.5
L2 = Lodo 20 t ha ⁻³	R3	617	98	284	161	123	1.9	7.5	10.3	33.2	19.5	12.4	15.2	19.6	47.2
L2 = Lodo 20 t ha ⁻⁴	R4	628	107	264	171	93	0.7	7.2	12.2	25.8	20.5	14.4	19.2	20.1	54.2
L1 = Lodo 10 t ha ⁻¹	R1	599	84	316	199	118	0.8	2.1	6.3	21.4	18.9	18.1	32.5	9.1	69.5
L1 = Lodo 10 t ha ⁻²	R2	519	95	385	235	150	1.0	2.3	8.3	21.8	16.1	17.2	33.3	11.6	66.6
L1 = Lodo 10 t ha ⁻³	R3	557	102	340	226	115	0.0	3.4	10.1	34.3	16.1	12.5	23.5	13.6	52.1
L1 = Lodo 10 t ha ⁻⁴	R4	570	103	327	199	128	0.9	3.4	9.9	27.8	21.5	15.2	21.3	14.2	58.0
L0 = Lodo 0 t ha ⁻¹	R1	520	126	354	231	123	2.3	3.1	8.9	29.7	18.4	15.1	22.6	14.3	56.0
L0 = Lodo 0 t ha ⁻²	R2	529	134	337	212	125	2.8	8.2	16.4	36.5	14.5	9.3	12.4	27.3	36.1
L0 = Lodo 0 t ha ⁻³	R3	583	114	303	187	115	1.4	1.8	7.1	27.4	16.6	15.6	30.1	10.3	62.3
L0 = Lodo 0 t ha ⁻⁴	R4	610	100	289	176	113	1.8	6.5	11.7	26.5	19.4	14.3	19.8	20.0	53.4
PC = Plantio Convencional	R1	637	66	297	186	111	1.0	1.1	4.9	11.2	16.2	19.8	45.8	7.0	81.8
PC = Plantio Convencional	R2	614	58	328	214	114	0.8	1.9	4.1	10.8	12.3	19.8	50.3	6.8	82.4
PC = Plantio Convencional	R3	650	57	293	187	105	0.0	1.0	4.6	15.4	13.9	19.3	45.8	5.6	79.0
PC = Plantio Convencional	R4	628	52	320	208	112	0.0	1.6	3.0	17.2	13.5	19.4	45.3	4.5	78.2

R1, R2, R3 e R4 – são respectivamente repetição 1, repetição 2, repetição 3 e repetição 4

Continua...

Anexo 13 - Continuação...

Tratamentos	DMP	DMG	Porosidade Total	0,5 kPa	2 kPa	6kPa	CC 10 kPa	CC 30 kPa	100 kPa	PMP 1500 kPa	Dens. do Solo	AD		CAR PT - 6 kPa	Aw 6-1500 kPa	
												10 - 1500 kPa	30 - 1500 kPa			
		-----mm-----	-----m ³ m ⁻³ -----										Mg m ⁻³	-----m ³ m ⁻³ -----		
MT = Mata Nativa	R1	3.79	2.75	0.65	0.64	0.49	0.35	0.31	0.28	0.26	0.24	0.98	0.07	0.04	0.30	0.11
MT = Mata Nativa	R2	4.68	3.80	0.66	0.64	0.45	0.33	0.30	0.27	0.25	0.23	0.97	0.07	0.03	0.33	0.09
MT = Mata Nativa	R3	4.45	3.50	0.67	0.66	0.46	0.34	0.31	0.28	0.26	0.25	0.87	0.07	0.04	0.33	0.09
MT = Mata Nativa	R4	4.70	3.83	0.67	0.65	0.41	0.31	0.29	0.27	0.25	0.22	0.80	0.07	0.05	0.36	0.09
S = Seringueira	R1	2.31	1.29	0.56	0.54	0.50	0.41	0.37	0.32	0.30	0.27	1.20	0.10	0.05	0.15	0.14
S = Seringueira	R2	3.18	2.05	0.58	0.56	0.51	0.41	0.38	0.32	0.29	0.27	1.14	0.11	0.05	0.17	0.15
S = Seringueira	R3	1.55	0.85	0.56	0.55	0.51	0.41	0.38	0.31	0.28	0.25	1.19	0.12	0.06	0.15	0.16
S = Seringueira	R4	4.57	3.20	0.56	0.54	0.49	0.39	0.36	0.31	0.28	0.25	1.19	0.11	0.05	0.17	0.14
PD20 = Plantio Direto há 20 anos	R1	2.95	1.69	0.58	0.57	0.53	0.42	0.38	0.33	0.30	0.30	1.21	0.09	0.03	0.16	0.13
PD20 = Plantio Direto há 20 anos	R2	2.17	1.42	0.58	0.57	0.53	0.42	0.38	0.33	0.31	0.29	1.24	0.10	0.05	0.16	0.13
PD20 = Plantio Direto há 20 anos	R3	2.13	1.17	0.59	0.58	0.53	0.42	0.39	0.33	0.30	0.28	1.22	0.11	0.06	0.17	0.14
PD20 = Plantio Direto há 20 anos	R4	2.23	1.37	0.57	0.56	0.53	0.42	0.40	0.35	0.31	0.28	1.25	0.12	0.06	0.15	0.14
PD8 = Plantio Direto há 8 anos	R1	1.34	0.82	0.56	0.54	0.50	0.40	0.37	0.32	0.29	0.29	1.24	0.08	0.04	0.15	0.12
PD8 = Plantio Direto há 8 anos	R2	1.75	0.98	0.55	0.54	0.50	0.42	0.38	0.33	0.30	0.28	1.29	0.10	0.05	0.14	0.13
PD8 = Plantio Direto há 8 anos	R3	1.38	0.91	0.56	0.55	0.50	0.41	0.38	0.34	0.31	0.28	1.30	0.10	0.06	0.15	0.13
PD8 = Plantio Direto há 8 anos	R4	1.46	0.89	0.54	0.53	0.50	0.42	0.39	0.35	0.31	0.28	1.35	0.11	0.07	0.12	0.13
L2 = Lodo 20 t ha ⁻¹	R1	1.78	1.07	0.60	0.57	0.46	0.34	0.30	0.28	0.25	0.24	1.01	0.06	0.04	0.27	0.10
L2 = Lodo 20 t ha ⁻²	R2	1.70	0.96	0.61	0.58	0.46	0.34	0.30	0.28	0.26	0.23	1.01	0.07	0.04	0.27	0.11
L2 = Lodo 20 t ha ⁻³	R3	2.65	1.74	0.62	0.60	0.46	0.33	0.25	0.23	0.21	0.19	1.02	0.06	0.04	0.29	0.13
L2 = Lodo 20 t ha ⁻⁴	R4	2.44	1.52	0.62	0.59	0.46	0.33	0.26	0.24	0.22	0.21	1.04	0.05	0.04	0.29	0.12
L1 = Lodo 10 t ha ⁻¹	R1	1.68	0.97	0.60	0.57	0.47	0.36	0.32	0.30	0.27	0.26	1.16	0.06	0.04	0.24	0.10
L1 = Lodo 10 t ha ⁻²	R2	1.79	1.00	0.57	0.57	0.49	0.37	0.32	0.29	0.27	0.25	1.19	0.07	0.05	0.21	0.12
L1 = Lodo 10 t ha ⁻³	R3	2.19	1.37	0.62	0.59	0.50	0.38	0.31	0.31	0.28	0.26	1.19	0.05	0.05	0.24	0.12
L1 = Lodo 10 t ha ⁻⁴	R4	2.16	1.36	0.64	0.62	0.49	0.36	0.31	0.27	0.25	0.23	1.08	0.08	0.04	0.27	0.13
L0 = Lodo 0 t ha ⁻¹	R1	2.22	1.35	0.58	0.57	0.47	0.35	0.31	0.28	0.26	0.23	1.18	0.07	0.05	0.23	0.11
L0 = Lodo 0 t ha ⁻²	R2	3.09	2.13	0.61	0.59	0.48	0.36	0.30	0.27	0.25	0.23	1.12	0.07	0.04	0.25	0.13
L0 = Lodo 0 t ha ⁻³	R3	1.88	1.09	0.64	0.62	0.50	0.36	0.29	0.29	0.27	0.26	1.10	0.03	0.03	0.28	0.10
L0 = Lodo 0 t ha ⁻⁴	R4	2.47	1.52	0.64	0.62	0.54	0.37	0.30	0.28	0.26	0.24	1.14	0.06	0.04	0.27	0.13
PC = Plantio Convencional	R1	1.26	0.69	0.55	0.54	0.51	0.41	0.35	0.29	0.25	0.23	1.26	0.11	0.06	0.14	0.18
PC = Plantio Convencional	R2	1.20	0.63	0.54	0.52	0.49	0.42	0.34	0.30	0.26	0.24	1.28	0.10	0.06	0.12	0.18
PC = Plantio Convencional	R3	1.24	0.69	0.55	0.54	0.50	0.42	0.33	0.29	0.26	0.23	1.25	0.10	0.05	0.13	0.18
PC = Plantio Convencional	R4	1.24	0.70	0.56	0.54	0.51	0.42	0.35	0.29	0.26	0.24	1.25	0.11	0.06	0.14	0.18

R1, R2, R3 e R4 – são respectivamente repetição 1, repetição 2, repetição 3 e repetição 4

Continua...

Anexo 13 - Continuação...

Tratamentos	Índice S	Limite liquidez	Limite plasticidade	Índice plasticidade	Matéria Orgânica	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Soma Bases	V%	CTC	
		-----g g ⁻¹ -----			g dm ⁻³		g dm ⁻³	-----mmol _c dm ⁻³ -----					mmol _c dm ⁻³		
MT = Mata Nativa	R1	0.0819	0.38	0.34	0.04	62.0	5.9	18.0	2.8	109.0	17.0	22.0	128.8	85.0	151.3
MT = Mata Nativa	R2	0.1516	0.39	0.35	0.04	72.0	6.2	23.0	2.7	126.0	19.0	22.0	147.7	87.0	170.2
MT = Mata Nativa	R3	0.1519	0.39	0.35	0.04	85.0	6.6	25.0	3.7	126.0	21.0	16.0	150.7	90.0	167.1
MT = Mata Nativa	R4	0.1551	0.41	0.35	0.05	90.0	6.1	17.0	3.6	139.0	25.0	22.0	167.6	88.0	190.1
S = Seringueira	R1	0.0815	0.40	0.37	0.03	44.0	4.7	10.0	2.0	34.0	11.0	58.0	47.0	45.0	105.0
S = Seringueira	R2	0.0866	0.43	0.39	0.04	43.0	4.4	15.0	1.4	22.0	7.0	72.0	30.4	30.0	102.0
S = Seringueira	R3	0.0871	0.38	0.35	0.03	37.0	4.4	169.0	2.6	23.0	5.0	72.0	30.6	30.0	102.2
S = Seringueira	R4	0.0836	0.40	0.36	0.04	40.0	4.6	144.0	2.9	29.0	7.0	64.0	38.9	38.0	103.3
PD20 = Plantio Direto há 20 anos	R1	0.1045	0.39	0.30	0.09	43.0	4.9	67.0	6.7	41.0	9.0	47.0	56.7	55.0	103.7
PD20 = Plantio Direto há 20 anos	R2	0.0953	0.41	0.34	0.07	41.0	4.9	52.0	6.3	42.0	10.0	42.0	58.3	58.0	100.6
PD20 = Plantio Direto há 20 anos	R3	0.0928	0.44	0.36	0.08	43.0	4.9	80.0	6.2	39.0	10.0	47.0	55.2	54.0	102.2
PD20 = Plantio Direto há 20 anos	R4	0.0805	0.42	0.35	0.07	39.0	4.9	51.0	6.4	36.0	9.0	38.0	51.4	57.0	89.5
PD8 = Plantio Direto há 8 anos	R1	0.0882	0.08	0.07	0.06	34.0	5.3	109.0	5.1	44.0	22.0	31.0	71.1	70.0	101.9
PD8 = Plantio Direto há 8 anos	R2	0.0767	0.59	0.35	0.24	34.0	5.3	74.0	5.0	45.0	24.0	31.0	74.0	71.0	104.8
PD8 = Plantio Direto há 8 anos	R3	0.0717	0.41	0.35	0.06	36.0	5.3	121.0	6.2	73.0	38.0	31.0	117.2	79.0	148.0
PD8 = Plantio Direto há 8 anos	R4	0.0622	0.43	0.36	0.07	33.0	5.1	120.0	5.3	35.0	16.0	38.0	56.3	60.0	94.4
L2 = Lodo 20 t ha ⁻¹	R1	0.1212	0.32	0.30	0.02	43.0	3.9	144.0	2.5	15.0	4.0	121.0	21.5	15.0	142.7
L2 = Lodo 20 t ha ⁻²	R2	0.1187	0.33	0.30	0.03	43.0	3.9	136.0	2.3	15.0	4.0	109.0	21.3	16.0	130.4
L2 = Lodo 20 t ha ⁻³	R3	0.1483	0.37	0.34	0.03	46.0	4.0	154.0	2.6	17.0	4.0	109.0	23.6	18.0	132.7
L2 = Lodo 20 t ha ⁻⁴	R4	0.1476	0.38	0.35	0.03	50.0	4.1	166.0	2.3	22.0	6.0	109.0	30.3	22.0	139.4
L1 = Lodo 10 t ha ⁻¹	R1	0.1073	0.39	0.35	0.04	36.0	4.5	96.0	3.9	24.0	8.0	64.0	35.9	36.0	100.3
L1 = Lodo 10 t ha ⁻²	R2	0.1096	0.35	0.33	0.02	35.0	4.8	79.0	4.1	30.0	10.0	47.0	44.1	48.0	91.1
L1 = Lodo 10 t ha ⁻³	R3	0.1231	0.36	0.34	0.02	37.0	4.6	93.0	3.3	29.0	9.0	58.0	41.3	42.0	99.3
L1 = Lodo 10 t ha ⁻⁴	R4	0.1343	0.40	0.36	0.04	37.0	4.4	161.0	2.8	28.0	8.0	64.0	38.8	38.0	103.2
L0 = Lodo 0 t ha ⁻¹	R1	0.1134	0.37	0.33	0.03	28.0	5.7	64.0	3.4	41.0	20.0	20.0	64.4	76.0	84.6
L0 = Lodo 0 t ha ⁻²	R2	0.1215	0.35	0.32	0.03	27.0	5.5	46.0	4.2	35.0	16.0	28.0	55.2	67.0	83.0
L0 = Lodo 0 t ha ⁻³	R3	0.1571	0.36	0.33	0.03	29.0	5.5	63.0	3.4	45.0	20.0	25.0	68.4	73.0	93.4
L0 = Lodo 0 t ha ⁻⁴	R4	0.1666	0.39	0.36	0.04	28.0	5.6	51.0	4.0	43.0	20.0	30.0	67.0	73.0	91.8
PC = Plantio Convencional	R1	0.1056	0.34	0.34	0.01	33.0	4.7	24.0	2.6	29.0	14.0	47.0	45.6	49.0	92.6
PC = Plantio Convencional	R2	0.0951	0.34	0.31	0.03	32.0	4.5	43.0	2.4	19.0	7.0	52.0	28.4	35.0	80.6
PC = Plantio Convencional	R3	0.1072	0.35	0.31	0.05	29.0	4.4	55.0	2.3	14.0	5.0	58.0	21.3	27.0	79.3
PC = Plantio Convencional	R4	0.1064	0.34	0.31	0.04	32.0	4.3	41.0	2.3	16.0	7.0	64.0	25.3	28.0	89.7

R1, R2, R3 e R4 – são respectivamente repetição 1, repetição 2, repetição 3 e repetição 4

Continua...

Anexo 13 - Conclusão

Tratamentos		B	Cu	Fe	Mn	Zn	Estrutura	Consistência Úmida	Cor Úmida Munsell	Cor Visual	Porosidade	Número Minhocas	Camada Compactada	Cobertura do Solo	Índice Visual		
		-----g dm ⁻³ -----															
MT = Mata Nativa	R1	0.3	3.5	17.0	21.3	5.8	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0.00	2.00	2.00	28.00		
MT = Mata Nativa	R2	0.4	3.9	24.0	21.5	5.6	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0.00	2.00	2.00	28.00		
MT = Mata Nativa	R3	0.3	4.0	26.0	24.2	5.3	2.00	2.00	1.50	2.00	2.00	0.00	2.00	2.00	28.00		
MT = Mata Nativa	R4	0.6	3.7	35.0	39.2	8.5	2.00	2.00	2.00	2.00	1.50	0.00	2.00	2.00	27.00		
S = Seringueira	R1	0.3	7.2	16.0	22.0	1.1	1.50	2.00	1.50	1.50	0.50	0.00	1.50	2.00	21.50		
S = Seringueira	R2	0.4	7.5	20.0	17.5	1.3	1.50	2.00	1.50	1.50	0.50	0.00	1.50	2.00	21.50		
S = Seringueira	R3	0.3	8.6	18.0	16.4	2.1	1.50	2.00	1.50	1.50	0.50	0.00	1.50	2.00	21.50		
S = Seringueira	R4	0.3	7.0	18.0	17.2	2.1	2.00	2.00	1.50	1.50	0.50	0.00	1.50	2.00	23.00		
PD20 = Plantio Direto há 20 anos	R1	0.4	9.1	19.0	37.4	3.0	1.50	2.00	1.50	1.50	0.50	0.00	1.00	2.00	20.50		
PD20 = Plantio Direto há 20 anos	R2	0.4	9.6	20.0	46.1	3.5	1.50	2.00	1.50	1.50	0.50	0.00	1.00	2.00	20.50		
PD20 = Plantio Direto há 20 anos	R3	0.4	9.2	24.0	52.6	3.6	1.50	2.00	1.50	1.50	1.00	0.00	1.00	2.00	21.50		
PD20 = Plantio Direto há 20 anos	R4	0.4	8.6	21.0	50.4	2.8	1.50	2.00	1.50	1.50	1.00	0.00	1.00	2.00	21.50		
PD8 = Plantio Direto há 8 anos	R1	0.3	8.6	18.0	41.2	4.4	1.50	2.00	1.50	1.50	1.00	0.00	1.00	2.00	21.50		
PD8 = Plantio Direto há 8 anos	R2	0.3	8.0	16.0	37.7	2.9	1.00	2.00	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	2.00	22.00		
PD8 = Plantio Direto há 8 anos	R3	0.4	8.5	18.0	35.5	4.7	1.50	2.00	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	2.00	23.50		
PD8 = Plantio Direto há 8 anos	R4	0.4	9.0	21.0	41.6	4.8	2.00	2.00	1.50	1.50	1.00	0.00	1.00	2.00	23.00		
L2 = Lodo 20 t ha ⁻¹	R1	0.6	23.8	95.0	41.4	30.5	2.00	2.00	1.50	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	20.00		
L2 = Lodo 20 t ha ⁻²	R2	0.6	21.8	126.0	38.4	29.3	2.00	2.00	1.50	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	20.00		
L2 = Lodo 20 t ha ⁻³	R3	0.5	25.0	122.0	32.0	44.0	2.00	2.00	1.50	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	20.00		
L2 = Lodo 20 t ha ⁻⁴	R4	0.5	25.6	123.0	31.9	49.5	2.00	2.00	1.50	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	20.00		
L1 = Lodo 10 t ha ⁻¹	R1	0.4	14.7	74.0	46.8	31.1	2.00	1.00	1.50	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	20.00		
L1 = Lodo 10 t ha ⁻²	R2	0.3	14.8	72.0	38.8	29.0	1.50	2.00	1.50	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	18.50		
L1 = Lodo 10 t ha ⁻³	R3	0.4	15.9	103.0	46.1	37.3	1.50	2.00	1.50	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	18.50		
L1 = Lodo 10 t ha ⁻⁴	R4	0.4	20.6	112.0	28.7	38.1	1.50	2.00	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	20.50		
L0 = Lodo 0 t ha ⁻¹	R1	0.1	5.6	11.0	23.8	3.4	2.00	2.00	1.50	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	20.00		
L0 = Lodo 0 t ha ⁻²	R2	0.2	6.2	13.0	27.9	2.5	1.50	2.00	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	20.50		
L0 = Lodo 0 t ha ⁻³	R3	0.2	6.4	15.0	30.4	3.3	1.50	2.00	1.50	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	18.50		
L0 = Lodo 0 t ha ⁻⁴	R4	0.2	6.3	15.0	31.5	3.3	2.00	2.00	1.50	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	20.00		
PC = Plantio Convencional	R1	0.3	6.0	15.0	22.3	1.7	1.50	2.00	2.00	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	13.50		
PC = Plantio Convencional	R2	0.3	5.7	16.0	18.0	2.4	1.50	2.00	2.00	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	13.50		
PC = Plantio Convencional	R3	0.3	5.3	16.0	16.1	1.9	2.00	2.00	2.00	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	15.00		
PC = Plantio Convencional	R4	0.3	5.2	18.0	19.6	1.5	2.00	2.00	2.00	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	15.00		

R1, R2, R3 e R4 – são respectivamente repetição 1, repetição 2, repetição 3 e repetição

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)