



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA**

LUIZ RAFAEL FERRARI PESCE

**CORRELAÇÃO DE ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICO DE UM
CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico SOBRE O
PROCESSO EROSIVO NA REGIÃO DE NAZARENO - MG**

Londrina
2009

LUIZ RAFAEL FERRARI PESCE

**CORRELAÇÃO DE ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICO DE UM
CAMBISSOLO HÁPLICO Tb DISTRÓFICO SOBRE O
PROCESSO EROSIVO NA REGIÃO DE NAZARENO - MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação, em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. João Tavares Filho

Londrina
2009

LUIZ RAFAEL FERRARI PESCE

**CORRELAÇÃO DE ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICO DE UM
CAMBISSOLO HÁPLICO Tb DISTRÓFICO SOBRE O
PROCESSO EROSIVO NA REGIÃO DE NAZARENO - MG**

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Adriana Aparecida Ribon
UCDB

Profa. Dra. Maria De Fátima Guimarães
UEL

Profa. Dra. Graziela Moraes De Cesare
Barbosa
IAPAR

Prof. Dr. Ricardo Ralisch
UEL

Prof. Dr. João Tavares Filho
Orientador
Universidade Estadual de Londrina

Londrina, 24 de Março de 2009.

OFEREÇO

Ao meu avô José (Zé Pintor),
Por todo amor e alegria que tinha em vida.

DEDICATÓRIA

Deus, por me permitir realizar este trabalho,
Aos meus pais Márcia e Edjoter,
Aos meus irmãos Lucas e Luana,
A minha namorada Nádia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela dádiva da vida e por ter permitido que eu realizasse esse trabalho com tranquilidade e força.

Ao meu orientador João Tavares Filho, pela orientação, paciência e compreensão durante a execução dos meus trabalhos e estudos.

A meus pais Marcia e Edjoter por todo aprendizado e lições de vida, e por me darem força, mesmo nos momentos mais difíceis e não permitirem que eu jamais desistisse dos meus sonhos.

Aos meu irmãos Lucas e Luana, por toda amizade e amor, e incentivo para que eu obtivesse o título de Mestre.

A minha namorada Nádia, pela amizade, amor e companherismo em todos os momentos, pela paciência em aguentar meu mau humor e estresse nos momentos difíceis e força, por jamais permitir que eu desanimasse.

As minhas avós Elza e Maria, por entender e apoiar essa fase da minha vida.

A minha sogra e meu sogro, Nilza e Sérgio, pela força e torcida.

Aos meus familiares em geral.

A ONG Maria de Barro, por permitir que eu realizasse os trabalhos em Nazareno, fornecendo ferramentas e condições para execução dos trabalhos, e a todos seus integrantes.

Em especial, a Rogério Ferreira (Maria de Barro) por toda orientação, amizade e companherismo. Por todo conhecimento que me passou e por seu engajamento no estudo do solo.

Aos meus amigos da pós-graduação Ricardo, Mario, Mary, Inês, Marina, Levi, Sinval, Reis, Paulo, Tiago, Evandro, Kleber, Leandro, Marlene, Colombia.

Aos meus amigos Mateus, Fabio, Elder, Johann, Perro, e meu primo Ney pelos momentos de tranquilidade.

Ao pessoal do laboratório de solos, Marcio e João, pela ajuda nas análises.

A Pós-graduação da UEL.

Aos professores Ricardo Ralisch, Maria de Fatima, Inês, Vieira, Amarildo por todo conhecimento transmitido.

A CAPES pela concessão de bolsa de estudo.

PESCE, Luiz Rafael Ferrari. **Correlação de Atributos Físico-hídrico de um Cambissolo Háplico Tb distrófico sobre o Processo Erosivo na Região de Nazareno – MG**. 2008. 73f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

RESUMO

O processo de erosão tem gerado grandes perdas de solo, refletindo nos custos de produção e na degradação do meio ambiente. A alteração da infiltração da água contribui para o processo de erosão, sendo resultado da modificação dos atributos físicos e da perda da qualidade estrutural devido a presença de impedimentos físicos no perfil do solo, sendo a predisposição do solo a sofrer alterações relacionadas com o tipo de solo. O Cambissolo Háplico Tb distrófico é caracterizado na região de Nazareno (MG) como de baixa estruturação física natural, pobreza química e reduzida permeabilidade e pode estar contribuindo para as alterações de seus atributos somadas ao sistema de preparo de solo convencional, pois 51,3% das áreas degradadas por voçoroca em Nazareno se encontram sobre esse solo. O objetivo desse trabalho foi avaliar o estado estrutural do solo e, quando da presença de impeditivos físicos, como as alterações dos atributos físicos nas unidades morfológicas homogêneas descritas afetam a infiltração de água no solo. Foi determinada uma topossequência ao longo da encosta e aberto três trincheiras localizadas um no topo (T1), uma no meio da vertente (T2) e outra na base da encosta (T3), em cada trincheira foi realizada a descrição do Perfil Cultural para a identificação das unidades morfológicas homogêneas (UMH), a partir dessa descrição definiu-se os volumes compactos e livres do solo, e sobre esses volumes foi realizado a avaliação da infiltração da água por meio do anel duplo concêntrico, também foram avaliados os atributos físicos densidade do solo (D_s), densidade da partícula (D_p), porosidade total (P_t), macroporosidade, microporosidade, granulométrica, curva de retenção de água, diâmetro médio geométrico (DMG), índice de estabilidade de agregados (IEA) e matéria orgânica (MO) por meio de metodologias descritas em Camargo et al. (1986) e Embrapa (1997). Foi utilizada a análise de componentes principais para agrupar as unidades amostrais semelhantes (combinação trincheira/unidade morfológica homogênea) quanto aos atributos físicos. Encontrou-se que a infiltração da água reduziu com a profundidade nas trincheiras devido a presença de UMH compactas, relacionados a maiores valores de D_s e menores de P_t . No entanto na T2 a infiltração em superfície também sofreu influência dos microporos. O preparo do solo reduziu a estabilidade de agregados na superfície do terreno aumentando a suscetibilidade à erosão, no entanto a presença de MO contribuiu para aumentar a estabilidade dos agregados. A retenção de água foi afetada positivamente com a presença de silte. O topo da encosta se mostrou mais suscetível ao processo de erosão. No entanto a presença de UMH (cascalhos) no meio da encosta não permitiu a formação de agregados. A base da encosta é menos suscetível a remoção e desagregação pela chuva por apresentar maior DMG e IEA, pela menor redução da infiltração permitindo que ocorra redistribuição da água no perfil.

Palavras-chave: Voçoroca. Erosão. Porosidade do solo. Estrutura do solo. Infiltração de água.

PESCE, Luiz Rafael Ferrari. **Correlation of Attributes Physical-Hidric of Soil Haplanthrepts Inceptisols on the Erosive Process.** 2008. 73p. Dissertation (Master`s Degree in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

ABSTRACT

The process of erosion has created major soil losses, reflecting the costs of production and the degradation of the environment. The alteration to water infiltration of contributes to the process of erosion, being the result of the modification of physical attributes and the loss of structural quality due the presence of physical impediments in the soil profile, and the predisposition of soil to suffer alterations related with the type of soil. The Haplanthrepts Inceptisols is characterised in the region of Nazareno (MG) as of low natural structure physical, poverty chemical and reduced permeability and can be contributing for the alterations of its attributes added to the conventional system of soil tillage, therefore 51.3% of the areas degraded for gully erosion in Nazareno if find on this soil. The objective of this work was to evaluate the structural state of the soil and, where the presence of impeding physical, as the alterations to the physical attributes of the morphological homogeneous units (UMH) described affect the water infiltration. Was determined a toposequenc along the slope and open three trenches located in top(T1), a middle strand (T2) and another on the base of the hillside (T3), in each trench was performed the Cultural Profile description for identification of the units morphological homogeneous (UMH), from that description defined the volumes compact and free from soil, and on these volumes was carried out the assessment of water infiltration by the double ring concentric, were also evaluated physical attributes of soil bulk density (Ds), particle density (Dp), total porosity (En), macroporosity, microporosity, granulometric, geometric average diameter (DMG), aggregate stability index (IEA), organic matter (MO), and water retention curve by means of described methodologies in Camargo et al. (1986) and Embrapa (1997). The analysis of main components was used to group the units shows fellow creatures (combination trench/homogeneous morphologic unit) how much to the physical attributes. The water infiltration decrease on presence of morphological homogeneous units compacts, related to higher values of bulk density and lower total porosity. The soil tillage reduced the stability of aggregate in surface of the land increasing the susceptibility to erosion, however the MO presence contributed to increase the stability of aggregates. The Water retention was positively affected with the presence of silt. However the presence of UMH constitutes to gravel on the middle hillside did not allow the aggregate formation. The basis hillside is less susceptible to remove and disaggregation by the rain for presenting largest DMG and IEA, the less reduction of infiltration allowing that redistribution occurs of water in the profile.

Keywords: Gully. Erosion. Soil porosity. Soil structure. Water infiltration.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1** – Mapa de localização do município de Nazareno no Estado de Minas Gerais, escala 1:6.500.000. Fonte: Ferreira (2005)38
- Figura 3.2** – Índice pluviométrico anual de Nazareno – MG, composto das médias de precipitação dos últimos 10 anos. Fonte: Projeto Maria de Barro.....39
- Figura 3.3** – Mapa de voçorocas do município de Nazareno – MG. Fonte: Ferreira (2005)40
- Figura 3.4** – Mapa de solos do município de Nazareno e localização da área de estudo, escala 1:100.000. Fonte: Ferreira (2005)41
- Figura 3.5** – Cambissolo Háplico Tb distrófico com erosão em voçoroca e localização da topossequência no terreno. (Foto: Luiz Rafael Ferrari Pesce).....42
- Figura 3.6** – Trincheira 1 (topo), trincheira 2 (meio) e trincheira 3 (base) localizadas ao longo de uma topossequência no município de Nazareno – MG, em Cambissolo Háplico T distrófico. (Foto: Luiz Rafael Ferrari Pesce).....42
- Figura 3.7** – Perfis Culturais do Cambissolo Háplico Tb distrófico ao longo da topossequência (T1, T2 e T3) com respectivas classificações no município de Nazareno – MG.....45
- Figura 3.8** – Taxa de infiltração de água em Cambissolo Háplico Tb distrófico ao longo de uma topossequência (T1, T2 e T3) e em duas profundidades em cada trincheira (superfície-L, e profundidade- Δ).....48
- Figura 3.9** – Curva de retenção de água do cambissolo Háplico Tb distrófico ao longo da topossequência (T1, T2 e T3) e nas unidades morfológicas homogêneas, com valores observados e calculados (equação de Van Genuchten) de umidade volumétrica53
- Figura 3.10** – Análise de componentes principais relacionados às análises físicas e as unidade morfológicas homogêneas através de atributos dependentes do Cambissolo Háplico Tb distrófico por meio de classes de agrupamento55

Figura 3.11 – Perfil cultural das 3 trincheiras ao longo da topossequência e infiltração de água nas unidades morfológicas homogêneas L e Δ do Cambissolo Háplico Tb distrófico. (Foto: Luiz Rafael Ferrari Pesce).....57

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Modos de organização do perfil de solo (1) (TAVARES FILHO et al., 1999b)	32
Tabela 2.2 – Estado interno dos torrões presentes nos diferentes modos de organização do volume de solo antropizado (TAVARES FILHO et al., 1999b)	33
Tabela 3.1 – Resultado das análises de densidade do solo (Ds), densidade da partícula (Dp), porosidade total (Pt), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e textura do cambissolo Háplico Tb distrófico ao longo da topossequência (T1, T2 e T3) e nas unidades morfológicas homogêneas em Nazareno – MG....	49
Tabela 3.2 – Resultados das análises de diâmetro médio geométrico (DMG), índice de estabilidade de agregados (IEA) e matéria orgânica (MO) do cambissolo Háplico Tb distrófico ao longo da topossequência (T1, T2 e T3) e nas unidades morfológicas homogêneas em Nazareno –MG	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 EROÇÃO HÍDRICA	15
2.2 CAMBISSOLO E PROCESSO EROSIVO	19
2.3 ALGUNS ATRIBUTOS DE SOLO QUE PODEM AJUDAR NA COMPREENSÃO DO PROCESSO DE INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO E SUA RELAÇÃO COM A EROSÃO HÍDRICA.....	23
2.3.1 Curva de Retenção de Água	23
2.3.2 Porosidade do Solo	23
2.3.3 Textura do Solo	24
2.3.4 Densidade do Solo	25
2.3.5 Umidade do Solo.....	26
2.3.6 Agregação e Estrutura do Solo	27
2.3.7 Matéria Orgânica.....	31
2.3.8 Perfil Cultural.....	32
3 ARTIGO A: EFEITO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO NA INFILTRAÇÃO DE ÁGUA EM CAMBISSOLO HÁPLICO TB DISTRÓFICO AO LONGO DE UMA TOPOSSEQUÊNCIA	35
3.1 RESUMO	35
3.2 INTRODUÇÃO	37
3.3 MATERIAL E MÉTODOS	38
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
3.4.1 Descrição das Unidades Morfológicas Homogêneas (UMH).....	46
3.4.2 Atributos Físicos e Hídricos das Diferentes UMH Encontradas nos Perfis Analisados	48
3.4.3 Análise de Componentes Principais (ACP)	55
3.5 CONCLUSÕES	59
REFERÊNCIAS	61

ANEXO	72
Anexo 1 – Figura A.1: Perfil cultural das 3 trincheiras ao longo da topossequência e infiltração de água nas unidades morfológicas homogêneas L e Δ do Cambissolo Háplico Tb distrófico. (Foto: Luiz Rafael Ferrari Pesce).....	73

1 INTRODUÇÃO

A degradação dos solos pela interferência antropogênica tem sido um dos grandes agravantes para a perda de solo e água, principalmente em áreas onde o cultivo é caracterizado como exploratório. Este processo teve início no momento que o homem buscou dominar o meio ambiente com técnicas de cultivo, sem levá-lo em consideração como parte integrante do processo (BERTONI; LOMBARDI, 1999). No Brasil tem sido agravado nas últimas décadas devido ao acelerado processo de devastação de sua vegetação nativa, pela expansão da agropecuária, crescimento de cidades, construção de estradas e rodovias, incentivada por políticas desenvolvimentistas e práticas inadequadas de produção (BACCARO, 1999).

Os problemas gerados são de ordem econômica, agrônômica, ambiental e também social (LAL; ELLIOT, 1994), pois torna áreas produtivas em áreas improdutivas, criando o êxodo do campo para a cidade, aumentando os custos de produção, reduzindo o rendimento das lavouras e poluindo a água e o solo. (BIGARELLA; MAZUCHOWSKI, 1985; BERTONI; LOMBARDI, 1999).

A degradação do solo pode ser entendida como a perda de qualidade física, química e biológica. A degradação física ocorre pela perda da qualidade estrutural e do espaço poroso do solo, ou arraste das partículas do solo (MACHADO; FAVARETTO et al, 2006). De acordo com Bertol (1994) e Tavares Filho et al. (2005), a degradação física influencia a infiltração e distribuição de água no solo, que possui importante papel no controle da erosão hídrica. Esse processo pode ser agravado pelo tipo de solo. O Cambissolo, caracterizado por material mineral com horizonte B Câmbico ou B Incipiente, subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial (EMBRAPA, 2006), em especial os encontrados em Nazareno – MG, que apresentam formação recente, geralmente com pequena espessura de *solum*, pobreza química e baixa permeabilidade (MELLO et al, 2005; SILVA et al, 2005b) são considerados altamente susceptíveis a problemas de degradação, principalmente a erosão hídrica, devido ao seu alto teor de silte e pequena espessura de solo (RESENDE et al, 1990).

A erosão hídrica representa a forma mais séria de degradação do solo. Consiste no processo físico de desagregação, transporte e deposição das

partículas do solo em outras áreas, como curso de água. (GUERRA,1999; AMORIM et al, 2001; COGO et al, 2003; PEREIRA et al, 2003; FAVARETTO et al, 2006). A forma mais agressiva de erosão hídrica é a denominada voçoroca, responsável por grandes perdas de solo, assoreamento de córregos e quando da sua presença, impossibilita o cultivo. Sua recuperação é de custo elevado. Em alguns casos, as técnicas adotadas não conseguem recuperar a área, sendo possível apenas a sua preservação (SILVA et al, 2005b).

O município de Nazareno - MG, região de ocorrência expressiva de Cambissolo, dentre os quais o Cambissolo Háplico Tb distrófico, ocupados com pastagens extensivas de baixa produtividade, caracterizada por ocupação exploratória do solo, apresenta em grande parte de seu território áreas degradadas por erosão hídrica, com conseqüente assoreamento de córregos e perda de áreas produtivas, sendo comum a presença de voçorocas. De acordo com Ferreira (2005), em Nazareno (MG) foram encontradas 57 voçorocas, comprometendo 344,6 ha (1,06% da área total) do município. Das quais, 51,3% estão localizadas em Cambissolos.

Acredita-se que em Nazareno (MG), o Cambissolo Háplico Tb distrófico associado a uma agropecuária extensiva de baixa produtividade, seja responsável por alterações nos atributos físico-hídricos do solo e conseqüentemente, modificando a dinâmica da água ao longo da topossequência, resultando no surgimento de áreas degradadas por voçorocas.

Considerando a necessidade de realização de trabalhos com a intenção de compreender o processo erosivo para evitar seu início, além de recuperar ou preservar áreas erodidas, reduzindo os danos ao meio ambiente e a sociedade. O objetivo deste trabalho foi avaliar o estado estrutural do solo e correlacionar com os atributos físico-hídricos, por meio de análises físicas e determinação da taxa de infiltração da água numa topossequência em Cambissolo Háplico Tb distrófico, para a compreensão do processo erosivo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 EROSIÃO HÍDRICA

O uso intensivo dos recursos naturais pelo homem, principalmente o solo, tem gerado grandes problemas de degradação (AMORIM et al., 2001; FAVARETTO et al., 2006; PANACHUKI et al., 2006). A degradação do solo é entendida como a perda da camada fértil do solo e alteração da qualidade e regime de vazão do sistema hídrico, podendo ocasionar a inviabilização sócio-econômica da área, devido à perda da vegetação nativa e da fauna (IBAMA, 1990). Isso tem ocorrido principalmente pela utilização do solo sem levar em consideração sua aptidão agrícola (sistema agrícola / sistema pedológico).

Sabe-se que uma das formas de degradação do solo é a erosão, que consiste no processo de desprendimento e arraste das partículas do solo causada pela força da água e do vento (BERTONI; LOMBARDI, 1999). O termo erosão vem do Latim “erosio” que representa corroer, separar. De forma geral significa remoção do solo (LAL, 1994).

A erosão hídrica é o processo de perda de solo devido à força da água, seja na forma de chuva ou pela irrigação (LAL E ELLIOT, 1994). Ela se inicia com a gota de água da chuva, que ao atingir a superfície do solo é capaz de desprender suas partículas devido à destruição dos seus agregados, transportando-as para fora da sua posição de origem através do salpicamento (“splash”), arrastando até 1,5 m de raio da posição inicial e 1,0 m de altura (BERTONI; LOMBARDI, 1999; WAKINDIKI; BEN-HUR, 2002, LEGUÉDOIS et al., 2005; MAMEDOV et al., 2006). Este fenômeno ocorre quando a energia aplicada pela gota da chuva for superior à energia de agregação das partículas do solo e, uma das maneiras de mensurar é através da energia cinética da gota, relacionando massa e velocidade final adquirida. Esta por sua vez, determina a erosividade da chuva que é a capacidade de causar erosão (WISCHMEIER; SMITH, 1978; BERTONI; LOMBARDI, 1999; GUERRA, 1999; FAVARETTO et al., 2006), relacionada a erodibilidade do solo, ou seja, sua predisposição à erosão (LAL; ELLIOT, 1994).

Os fatores que mais afetam a erosividade da chuva são a intensidade, duração e frequência, pois eles determinam a energia com que ela atinge o solo (LEMOS; BAHIA, 1992; GUERRA, 1999). Tanto que, quando chuvas de alta intensidade ocorrem durante um longo período, sua erosividade é alta (MORAIS et al., 1988), gerando grande quantidade de energia cinética com o impacto da gota da água no solo, além de que períodos longos aumentam o volume de escoamento superficial, devido a menor infiltração de água (MORAIS et al., 1988; GUERRA, 1999).

Ainda com relação ao salpicamento, outro problema gerado é o selamento da superfície do solo, pelo fato das partículas desagregadas bloquearem os poros do solo, reduzindo a infiltração de água (WAKINDIKI; BEN-HUR, 2002; ALVES SOBRINHO et al, 2003; COGO et al, 2003; LEGUÉDOIS et al., 2005; MAMEDOV et al., 2006). O selamento superficial é caracterizado por formar uma fina camada de solo na superfície do terreno, com alta densidade, baixa porosidade e reduzida velocidade de infiltração (HEIL et al., 1997, MAMEDOV et al., 2006).

Uma das formas de reduzir o efeito do salpicamento e selamento superficial do solo é através da manutenção da cobertura deixada pelos restos das culturas na superfície. Isto ocorre, pois os restos culturais têm ação direta na redução da desagregação das partículas do solo, em virtude da dissipação da energia cinética da gota da chuva (COGO et al, 2003; CASTRO et al, 2006).

Além disso, após o impacto da gota, a água é retida em poças superficiais (depressões), resultantes da rugosidade do terreno, também chamados de microrelevos, quando o volume retido superar a capacidade de retenção dos microrelevos, tem-se início o escoamento superficial que através do cisalhamento e arraste das partículas do solo, causa erosão. Portanto, a importância dos microrelevos é que ao acumular água, criando microbacias, aumentam a infiltração devido à pressão da coluna formada, além de evitar o selamento, pelo amortecimento do impacto da gota da chuva, porém sobre condições de elevada precipitação, ocorre o rompimento seqüencial das microbacias induzindo à formação de canais preferenciais de escoamento de água, aumentando o escoamento superficial (COELHO et al., 2000).

Diversos autores descreveram a importância da rugosidade do solo em reduzir o poder erosivo do escoamento superficial, pois, um aumento na rugosidade favorece o armazenamento de água na superfície, aumentando a

infiltração e retenção de sedimentos nos micro relevos, reduzindo a erosão (BERTOL, 1994; COGO et al, 2003; PEREIRA et al, 2003; CASTRO et al, 2006).

O cisalhamento ocorre quando a energia da enxurrada é maior que a energia de resistência das partículas ao movimento (GUERRA, 1999; CANTALICE et al, 2005). Dessa maneira o tamanho da partícula também influencia o transporte por escoamento, pois quanto menor o tamanho, menor será a energia de fluxo necessária para carregá-la (BIGARELLA; MAZUCHOWSKI, 1985).

Segundo Resende et al. (1990), as partículas mais finas do solo são mais facilmente transportadas, enquanto partículas maiores resistem à remoção tendendo a se acumular na superfície. No entanto, não apenas a força de cisalhamento, mas as partículas em suspensão no escoamento também provocam o desprendimento de outras partículas do solo pelo atrito entre elas. Esse processo é intensificado pelo aumento do volume e velocidade da enxurrada.

Bertoni e Lombardi (1999) afirmam que a quantidade de força gerada pelo escoamento é relacionada com a concentração e velocidade com que ela se move encosta abaixo. Laurent e Rossignol (2003) descrevem que a topografia do terreno induz o escoamento das águas e o volume dos fluxos, pois induzem uma aceleração ou retardação dos escoamentos e sua acumulação devido ao declive. Chaplot e Bissonais (2003) explicam que um dos efeitos da inclinação, é que este diminui o efeito dos microrelevos em reter água.

Amorim et al (2001) concluíram que a perda de solo aumenta com o incremento da energia cinética e da declividade, resultando num aumento médio de aproximadamente nove vezes quando a declividade da superfície aumentou de 2 para 18% num um Latossolo Vermelho-Amarelo.

A perda de solo devido à erosão acumula parte do material erodido em outro local, geralmente nos cursos d'água. Essa é a última etapa da erosão, que ocorre quando a carga de partículas excede a capacidade de transporte, tendo caráter seletivo, pois as primeiras partículas a serem depositadas são as de maiores tamanhos (LAL, 1994). Isso ocasiona o assoreamento de rios e córregos e aumento do custo de tratamento de água para consumo. Além de reduzir o volume de água em alguns córregos, as partículas removidas carregam consigo fertilizantes e substâncias químicas adsorvidas, causando poluição nas áreas onde forem depositadas (DELETIC, 1999; CAMEIRA et al., 2003).

Por isso Coquet et al. (2001) e Laurent e Rossignol (2003), destacam a importância do estudo da erosão na previsão e remediação da poluição e para o desenvolvimento de sistemas que minimizem os riscos ambientais. Rhoton et al. (2003) afirmam que para isso os estudos devem ser orientados a fim de melhorar a estabilidade dos solos a ponto de reduzir o escoamento e o cisalhamento das partículas.

Percebe-se, do exposto até agora, que o entendimento da dinâmica da água no solo (como ocorre a movimentação da água no solo) é importante já que esse estudo baseia-se na entrada e distribuição de água em solos cultivados e não cultivados e como os sistemas adotados interferem nas propriedades do solo, alterando ou não sua movimentação (COQUET et al., 2001).

É pelo meio poroso que a água entra no solo. Dessa maneira qualquer alteração na quantidade e no tamanho de poros do solo influencia o movimento de água. Além disso, a porosidade total do solo é constituída por uma rede de poros conectados entre si, os quais permitem o movimento da água dentro do perfil do solo (LIPIEC et al., 2006). Para demonstrar como o tamanho do poro influencia no movimento da água, Araujo (2005) cita a analogia realizada por Warkentin (1971) entre o solo e um tubo, onde a vazão no tubo é proporcional à quarta potência do seu raio, ao se reduzir o raio pela metade a vazão é reduzida dezesseis vezes.

Essa redução acontece, pois a movimentação da água dentro do perfil do solo só é possível devido às forças de adesão (atração pelas superfícies sólidas do solo) e coesão (atração pelas moléculas de água entre si). Isso ocorre, pois a água é uma molécula que apresenta cargas, fato este que caracteriza sua atração por íons e superfícies coloidais, bem como por outras moléculas semelhantes (VARGAS, 1968; LIBARDI, 1995; PREVEDELLO, 1996). Tais forças são regidas pela força de Van Der Waals, que descreve que a atração das moléculas de água por uma partícula, é inversamente proporcional a sua distância (VARGAS, 1968; LIBARDI, 1995; PREVEDELLO, 1996). Devido a essas forças, a água apresenta outra propriedade importante, chamada de tensão superficial. Essa propriedade faz com que sua superfície se apresente como se tivesse uma película protetora. Sendo importante, no fenômeno de capilaridade, que determina como a água se move e é retida no solo (HILLEL, 1970; LIBARDI, 1995; PREVEDELLO, 1996).

No entanto para que haja o movimento da água é necessário que ocorra diferenças de energia. Pois de forma geral, todas as substâncias tendem a mudar de estado energético, de uma alta energia para uma baixa energia, caracterizando o sentido do movimento da água no solo, bem como a energia necessária para sua realização. Neste caso, a mais expressiva é a energia potencial, pois os outros tipos de energia apresentam valores desprezíveis (VARGAS, 1968; HILLEL, 1970, LIBARDI, 1995; PREVEDELLO, 1996).

Os principais potenciais que afetam o movimento da água são: Potencial Gravitacional, Potencial Matricial, Potencial Pressão e Potencial Osmótico (VARGAS, 1968; HILLEL, 1970, LIBARDI, 1995). Para o caso do estudo da dinâmica da água, apenas o potencial gravitacional e o potencial matricial são considerados, pois o potencial osmótico só ocorre com a presença de uma membrana permeável e no solo não existe. E o potencial pressão, que representa a energia exercida pela molécula da água sobre o sistema água, dependente de coluna d'água e de referencial, somente ocorre em solos completamente saturados (HILLEL, 1970, LIBARDI, 1995).

O potencial gravitacional ocorre devido à força gravitacional, que atrai toda matéria para o centro da terra, sendo responsável pela infiltração e a drenagem do solo. O potencial matricial é resultado das forças de atração que existe entre as moléculas da água (coesão), e entre elas e o solo (adsorção), devido a essa força ocorre a distribuição e retenção da água dentro do perfil do solo (VARGAS, 1968; HILLEL, 1970, LIBARDI, 1995).

2.2 CAMBISSOLO E PROCESSO EROSIVO

Como foi visto diversos fatores afetam a infiltração no solo e a sua estrutura e com isso a dinâmica da água, no entanto o tipo de solo tem papel fundamental também, devido a sua predisposição ou não ao fenômeno de erosão (erodibilidade). Isso ocorre, pois o solo é resultado de processos de formação a partir da rocha, como o intemperismo, ou de acúmulo de partículas provenientes de outras regiões. Esse fator é condicionado ao tempo de existência e de formação de cada tipo de solo. Além disso, a diferenciação lateral dos solos na paisagem

depende também de mecanismos pedogenéticos próprios relacionados à adição, perda, transformação e translocação de materiais no solo que podem até mesmo controlar a evolução do relevo e ocorrer independentemente do substrato rochoso (JUHASZ et al., 2006).

Com isso, solos mais velhos, mais intemperizados, possuem características de melhor estruturação e com teores de argila maior e de agregados estáveis maiores, mais coesos, além de solos mais profundos. No entanto solos mais novos apresentam características de pequena espessura e propriedades físicas menos desenvolvidas, quando comparados com solos mais intemperizados.

Muitos esforços são realizados para separar os solos em classes de características semelhantes (EMBRAPA, 2006). Dentre os tipos classificados, existe a ordem Cambissolo, caracterizado por material mineral com horizonte B Câmbico ou B incipiente, subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial. Na região de Nazareno – MG, os Cambissolos encontrados são originários de rochas metapelíticas, correspondendo a unidades pedológicas de formação recente e apresentam pequena espessura de solum, baixa permeabilidade e pobreza química, sendo considerados solos suscetíveis à degradação, principalmente pelo alto teor de silte, por estes serem componentes texturais pouco desejáveis no contexto de conservação de solos tropicais. Isso ocorre, pois possuem alta capacidade de desagregação pelo impacto da gota da chuva e produzindo selamento superficial, que reduz a infiltração e aumenta o escoamento superficial, conseqüentemente a erosão (RESENDE et al, 1990; FERREIRA, 2005; MELLO et al, 2005; SILVA et al, 2005b).

Os Cambissolos no município de Nazareno – MG, são ácidos, com pH entorno de 4,2 a 5,4, saturação por alumínio inferior a 50%, com exceções em alguns casos, e baixa saturação por bases (8 a 41%). São solos de textura média argilosa e com profundidade de 50 a 90 cm, sendo classificados como Cambissolos Háplicos Tb distróficos (FERREIRA, 2005). O referido autor destaca ainda a presença de cascalhos e calhaus na superfície e na subsuperfície, além de apresentarem baixa capacidade de armazenamento de água. Esse solo apresenta sérios problemas quando cultivado com relação à dinâmica da água, pois tem limitações à sua utilização agrícola, sendo as principais a alta susceptibilidade à erosão, baixa capacidade de armazenamento de água, baixa fertilidade natural, além de impedimentos à mecanização devido ao seu relevo.

Silva et al. (2005b) avaliando um Cambissolo Háplico Tb distrófico típico e um Latossolo Vermelho distroférico típico, quanto à perda de solo pelo efeito da chuva, encontrou que para o Cambissolo Háplico Tb distrófico típico as perdas anuais eram correspondente a $205,65 \text{ Mg ha}^{-1}$, e para o Latossolo Vermelho distroférico típico $14,90 \text{ Mg ha}^{-1}$, comprovando a maior susceptibilidade do Cambissolo ao efeito erosivo da chuva.

Ainda com relação aos Cambissolos Háplicos Tb distróficos encontrados em Nazareno – MG, por apresentarem espessura rasa de perfil, onde geralmente não mais que 1 m (metro) antes de atingir a rocha mãe ou regolito, a distribuição de água dentro do perfil é limitada. Volumes de água não muito grande saturam o perfil rapidamente, resultando em escoamento superficial, e erosão devido ao transporte de partículas, no entanto tal fato é agravado devido à pobreza química e baixa estruturação física do solo, promovendo maiores quantidades de sedimentos removidos (RESENDE et al., 1990; MORAIS et al., 2004).

Ainda, Coutadeur et al. (2000), apontam que a presença de cascalho e calhaus no perfil do solo, modificam as propriedades físicas, principalmente a capacidade de armazenamento de água, além de alterações abruptas na infiltração e no escoamento e na reserva de matéria orgânica, influenciando na erosão e no rendimento das culturas. Quando não levada em consideração durante os cálculos e análises das propriedades do solo, pode causar subestimações de até 40% dos valores reais.

No município de Nazareno, cerca de 1.000 ha de terras agricultáveis estão em desacordo com sua aptidão agrícola. Essas terras são caracterizadas pela falta de assistência técnica, utilização de fogo no manejo das pastagens nativas, não utilização de calagem e análise de solo para manejo de sua fertilidade, pouca utilização de práticas conservacionistas como o plantio em nível, pouca utilização de rotação de culturas, baixa cobertura vegetal com florestas nativas e baixa capacitação dos agricultores, resultando no processo de degradação dos solos (FERREIRA, 2005). Além disso, uma parte do município é composta por Cambissolos Háplicos Tb distróficos e nessas áreas o processo erosivo é intenso, principalmente por voçorocas.

As Voçorocas podem ser definidas como grandes fendas no solo. Dessa forma, Bertoni e Lombardi (1999) as definem como processos erosivos ocasionados por grandes concentrações de escoamento superficial, provocando

grandes perdas de solo e a formação de enormes cavidades em extensão e profundidade, devido a isso, são processos de difícil correção, levando muitas vezes a perda de extensas áreas agricultáveis, além do assoreamento de córregos (IPT, 1986).

No entanto, Oliveira (1999) descreve que os sistemas naturais tendem ao equilíbrio entre a energia disponível e a eficiência em dissipar essa energia. No caso dos solos, tanto a alteração na energia disponível (intensidade e frequência de precipitação, etc.), quanto à alteração na eficiência em dissipar energia (uso do solo, cobertura vegetal, grau de estruturação, alteração da taxa de infiltração, etc.) podem levar a uma situação de desequilíbrio, ocasionando o surgimento de voçorocas, que são resultantes da tendência dos sistemas naturais em se adaptar e atingir novo equilíbrio.

Nos Cambissolos em Nazareno - MG, a erosão ocorre com pequenos volumes de água, através dos quais são desprendidos e carregados grandes volumes de solo, no entanto após atingir o lençol subsuperficial esse processo é intensificado, principalmente devido ao fenômeno de "pipping", que é a erosão subsuperficial, ocasionada por movimento de volume de água no interior do solo, com arraste de partículas menores através dos poros, criando grandes vazios, que devido à pressão cedem e criam crateras de solo movimentado e desagregado, e então se cria uma reação em cadeia, pois ao atingir o regolito, esse processo se torna mais intenso, pelo fato destes serem rochas semi-intemperizadas, com pouca ou nenhuma agregação (MORAIS et al., 2004)

Na formação e aprofundamento das voçorocas, observa-se um somatório de processos erosivos pela ação concomitante das águas superficiais e subsuperficiais, fazendo com que a erosão atinja grandes dimensões (IPT, 1986). Esse processo ao longo do tempo tende a se estabilizar, no entanto pode levar anos, e com isso toneladas de solo agricultáveis.

2.3 ALGUNS ATRIBUTOS DE SOLO QUE PODEM AJUDAR NA COMPREENSÃO DO PROCESSO DE INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO E SUA RELAÇÃO COM A EROÇÃO HÍDRICA

2.3.1 Curva de Retenção de Água

Uma maneira de expressar a água retida no solo e seus potenciais é através da curva de retenção de água, sendo apresentada na forma de gráfico, onde a ausência de quebras bruscas acentuadas indica uma mudança gradual no potencial com o aumento do volume de água e vice-versa (LIBARDI, 1995).

A curva de retenção normalmente é afetada pela textura (principalmente pelo teor de argila), estrutura (densidade do solo) e matéria orgânica do solo (HILLEL, 1970; BALBINO et al., 2002; BRUAND et al., 2002). Lima et al. (2006) estudando a variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos de um Cambissolo Háplico típico encontraram forte dependência espacial entre textura (argila e areia fina) e porosidade total com a água disponível no solo. Além disso, Mello et al. (2002) demonstraram por meio de análises matemáticas, que a matéria orgânica tem forte influência sobre o potencial matricial do solo em Cambissolo Háplico Tb distrófico.

2.3.2 Porosidade do Solo

A porosidade do solo representa o volume de solo não ocupado por partículas sólidas, e sim por água e ar. Dessa maneira, em função dos diâmetros dos poros e a partir do volume de água retida no solo e seus potenciais, é possível estabelecer classes de poros relacionados aos potenciais predominantes. Em poros que vão até 50 μm de diâmetro a força dominante mais expressiva é o potencial gravitacional, e são denominados macroporos. Nesses poros que ocorre a infiltração e irrigação no solo, no entanto, a água só permanece pouco tempo após a saturação do solo nesses poros, sendo logo drenada pela força gravitacional. Em poros menores que 50 μm , o potencial dominante é o potencial matricial e, nesses poros

ocorre à redistribuição de água no perfil do solo (EMBRAPA, 2007). Essas duas classes de poros exercem o controle sobre o fluxo de água e por isso agem diretamente sobre as propriedades de infiltração, armazenamento e escoamento da água no solo (KING et al., 2003).

Outra forma de descrever a água no solo em relação aos potenciais é através do termo porosidade drenável, que significa a fração da porosidade total onde a água circula livremente, sendo representada pelo conteúdo de ar no potencial de $-0,006$ MPa. Mello et al. (2002) encontraram para um Cambissolo Háplico Tb distrófico na Microrregião Campos das Vertentes - MG, que as propriedades físicas mais significativas na modelagem da porosidade drenável foram os teores de argila e areia e a densidade do solo.

Porém, a porosidade do solo pode variar de acordo com o manejo adotado. Costa et al. (2006), em trabalho com Cambissolo Húmico, encontraram que o revolvimento do solo com gradagem e aração para aplicação de calcário e posterior plantio, aumentou a porosidade total e a macroporosidade, sendo benéfico para a infiltração de água, enquanto que no sistema de plantio direto, o não revolvimento do solo apresentou valores menores de porosidade total e macroporosidade. Contudo, ao avaliar trabalhos com outros tipos de solo, afirmaram que as diferenças dos resultados estão relacionadas principalmente as particularidades de cada sistema de manejo, como umidade do solo no preparo, quantidade de cobertura de resíduos, peso das máquinas e controle de tráfego.

2.3.3 Textura do Solo

A textura afeta diretamente a porosidade, sendo definida como a distribuição das classes de tamanho de partículas do solo. É uma característica permanente do solo sendo pouco alterada pelo cultivo. Quanto maior o teor de argila, maior será o conteúdo de água, principalmente em altos potenciais (HILLEL, 1970), fato esse explicado pela dependência de umidade em altos potenciais estar ligado ao teor de argila (BALBINO et al., 2002).

Salomão (1999) associa a textura do solo como um dos fatores que afetam a erosão e descreve que solos de textura arenosa são normalmente mais

porosos, permitindo rápida infiltração, quando comparados a solos argilosos. Entretanto, por possuírem baixa proporção de partículas argilosas, as quais atuam unindo as partículas maiores, apresentam maior facilidade para a remoção das partículas, como se verifica mesmo em pequenos escoamentos superficiais. Por outro lado, os solos argilosos apresentam infiltração mais lenta em relação a arenosos, devido ao menor tamanho médio dos poros e à ação da capilaridade que retém água. No entanto as partículas se apresentam mais unidas, por essa razão, em solos argilosos não saturados, a infiltração é menos afetada pelo cultivo, em relação a solos de textura mais grossa.

Tal explicação não deve ser generalizada, pois a porosidade não é condicionada apenas à textura, mas também à matéria orgânica e a densidade do solo. Além da porosidade, a textura também afeta o selamento superficial, pois o mesmo formado em solos siltosos é diferente de quando o solo é argiloso (RUELLAN; DOSSO, 2003). Isso ocorre, pois solos siltosos tendem a ser facilmente desagregados e transportados, devido ao tamanho do silte ser próximo ao das argilas, o que acarreta em pouca energia necessária para serem removidas, e associadas às propriedades químicas semelhantes às areias, com reduzida superfície específica e conseqüentemente pequena capacidade de sofrer ligações, se apresentando em muitos casos dispersa (LAL; ELLIOT, 1994).

Morais et al. (2004) destacaram em estudos com solos de voçorocas, que ao avaliar os horizontes C (regolitos) de Cambissolos, Latossolos e Argissolos quanto a suscetibilidade a erosão, encontraram correlação positiva da erosão desses solos com os teores de silte, principalmente influenciando no mecanismo de “piping”, que é provocado pelo destacamento e transporte de partículas no interior do solo pela movimentação subsuperficial de água dentro dos macroporos, até o ponto de colapso do teto do poro, criando vazios dentro do perfil.

2.3.4 Densidade do Solo

A densidade do solo é outro fator que altera a porosidade e conseqüentemente a infiltração de água, por causa da sua relação de massa do solo com o volume ocupado. Quando ocorre uma redução no volume do solo ocupado

pela mesma massa anterior, significa que houve um rearranjo entre as partículas do solo, alterando dessa maneira a porosidade. A densidade do solo é inversamente proporcional à porosidade (SALOMÃO, 1999).

Balbino et al. (2002) estudando Ferrasols brasileiros, destacam o aumento da densidade do solo devido ao cultivo intensivo, principalmente em camadas compactas desprovidas de microagregados. Devido a isso, Lahlou et al. (2005) afirmam, após estudar um solo Calcimagnésico de caráter vértico, que a intensidade da compactação do solo pode ser medida através do estudo da densidade do solo.

Coquet et al. (2001) explicam que uma das causas da compactação pode ser resultado da pressão exercida pela passagem das rodas no solo, que reduz os macroporos, resultando também na diminuição da condutividade hidráulica. Lahlou et al. (2005) acrescentam que a compactação, além de afetar a qualidade física do solo diminuindo a macroporosidade, também provoca má drenagem e aumento da resistência na penetração das raízes, reduzindo o crescimento e o rendimento da cultura (NDIAYE et al., 2007). Bodhinayake et al. (2004) afirmam também que a presença de camadas compactas no solo aumenta o escoamento superficial.

Porém, Bertol et al. (2000) encontraram para um Cambissolo Húmico Álico, valores maiores de densidade do solo no plantio direto em comparação com o plantio convencional nas camadas superficiais e afirmaram que além da pressão das máquinas, a consolidação natural do solo, devido ao não revolvimento do solo, foi responsável pelo aumento da densidade no plantio direto. Contudo, em profundidade, a densidade do solo no plantio convencional aumentou, e o mesmo não ocorreu no plantio direto, resultado da compactação causada pela pressão das operações de preparo periódicas, mostrando um comportamento inverso nas camadas mais profundas em relação ao plantio direto

2.3.5 Umidade do Solo

A umidade também influencia a infiltração, pois representa um valor de água existente no solo em determinado momento; quanto maior a umidade,

menor o espaço entre os poros para a entrada de um novo volume de água (LIBARDI, 1995).

Mamedov et al. (2006) ao analisarem um solo rico em esmectita, encontraram que para um mesmo solo, conforme aumenta a umidade, reduz a quantidade de água infiltrada, isso pode ser observado também durante os testes de infiltração, que com o tempo a velocidade de infiltração reduz, pois o solo tende a saturação. Isto faz com que o risco de erosão se torne maior com chuvas de pequena duração, mas com alta frequência, pois a infiltração se torna dependente da umidade inicial.

2.3.6 Agregação e Estrutura do Solo

Entende-se por agregados (torrões) os aglomerados de partículas primárias que se formam por atrações físicas entre estas partículas ou através de agentes cimentantes (polisacarídeos) ou aglutinadores como óxidos de ferro e matéria orgânica. Não apresentam superfície de fraqueza quando submetidos a uma determinada pressão, o fraturamento é ao acaso. Já a estrutura do solo (unidades estruturais) são conjuntos de agregados que apresentam formas e tamanhos definidos, comportando-se como parte individualizada (BAVER et al., 1972).

Segundo Duiker et al. (2003) a agregação do solo se forma em consequência da floculação, cimentação e arranjo das partículas. Os mecanismos de agregação das partículas são influenciados pelos tipos de cátions e seu poder de floculação, em que quanto maior a valência e menor o raio de hidratação, maior o poder de floculação que é o primeiro passo para a agregação do solo. Castro Filho (2002) destaca que o poder de floculação dos cátions obedece à seguinte ordem: $Fe^{3+} > Al^{3+} > H^+ > Ca^{2+} > Sr^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > Na^+ > Li^+$. Isso ocorre, pois quanto mais cargas, menor o tamanho dos cátions, maior a atração e maior número possíveis de ligações entre as partículas, e quanto menor o diâmetro do cátion, maior será a força com que ele é adsorvido pelas superfícies da argila (DUFRANC et al., 2004).

Os cátions ao serem adsorvidos pelas superfícies da argila formam a dupla camada das argilas, pois as mesmas possuem cargas e quando se associam com cargas opostas criam a dupla camada, sendo uma camada a das cargas da

argila e a outra, cargas adsorvidas. O efeito da interação entre as duplas camadas das partículas do solo, com cargas superficiais idênticas é a repulsão, sendo dependente da distância entre as partículas, da magnitude da carga ou potencial de superfície, e em muitos casos do valor do pH (EMBRAPA, 2000).

Além dos tipos de cátions, Castro Filho (2002) cita como mecanismos de agregação que influenciam na estabilidade de agregados: a precipitação do alumínio; os ácidos orgânicos; a atividade biológica do solo; e a interação entre argilas, cátions polivalentes e matéria orgânica; além da mineralogia dos solos (quanto maior for à coexistência de cargas negativas e positivas, maior a floculação).

Balbino et al. (2002), mostraram claramente que o teor de argila exerce uma influência positiva sobre a estabilidade de agregados, em especial nas dimensões acima de 250 micrometros, quando comparado um solo argiloso e outro arenoso. Dufranc et al. (2004) verificaram que solos com grandes quantidades de areia fina e silte tem mais facilidade para se dispersarem, e que boa estabilidade de agregados está relacionada com a argila e a areia grossa também.

Porém a mineralogia da argila influencia a estabilidade da agregação, Vitorino et al. (2003) estudando mineralogia e estabilidade de agregados do tamanho silte em solos Cambissolo Háplicos, encontraram que maiores teores de gibisita, resultam em solos com agregados mais estáveis do tamanho silte, pois ajudou a manter a estrutura microgranular, porém o aumento de caulinita apresentou resultado inverso, com agregados mais fáceis de destruir.

De acordo com Castro Filho (2002), além da floculação, a formação e estabilidade dos agregados variam também em função dos agentes cimentantes provenientes de compostos da matéria orgânica e subprodutos de microorganismos. Estes por sua vez unem as partículas floculadas, gerando os agregados.

Silva (1999) acrescenta que a fissuração ou quebra dos agregados, pelas variações relacionadas às oscilações na umidade e presença de argilas expansíveis, também são fatores que afetam a formação dos agregados.

O cultivo também pode ter impacto na formação de agregados, devido à compactação e a fragmentação (TAVARES FILHO; TESSIER, 1997; NDIAYE et al., 2008). De acordo com Balbino et al. (2002), uma das formas de fragmentação dos horizontes do solo são resultado da utilização de máquinas agrícola, principalmente dos arados de discos. Contudo, Ndiaye et al. (2008)

afirmam que a fragmentação só melhora a porosidade do solo, quando é resultado da atividade biológica, pois, quando é resultado da utilização de máquinas, o efeito é a curto prazo.

Bertol et al. (2006) em trabalhos realizados com erosão hídrica e estabilidade de agregados observaram que a maior estabilidade de agregados à água, diminuiu a dispersão do solo pela gota da chuva, ocasionando menor selamento da camada superficial, além de aumentar a rugosidade e a taxa de infiltração de água no solo, reduzindo com isso a erosão.

Além da floculação e da cimentação, o pH do solo também influencia a agregação, pois devido à presença de cargas de diferentes sinais é que ocorre a atração das partículas. O pH representa qual a predominância de cargas em determinado solo, num determinado momento.

Segundo Dufranc et al. (2004), em solos ácidos, o efeito do Ca^{2+} na agregação não é tão importante, porque solos saturados por H^+ floculam mais que solos saturados por Ca^{2+} . De maneira que, Albuquerque et al. (2003) obtiveram redução no grau de floculação de 69% em média, para 58% em solo ácido, quando aplicado $9,0 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário, e afirmaram que essa redução está relacionada com o aumento da dupla camada difusa dos colóides devido à criação de cargas negativas, evidenciada pela substituição do Al^{3+} pelo Ca^{2+} . Além de também diminuir a atividade do Al^{3+} e H^+ , resultando em menor atividade de atração entre as partículas.

Em solos alcalinos, o efeito do Ca^{+2} pode ser constatado, pois ele toma o lugar do Na^+ no complexo de troca, e o Na^+ é reconhecidamente um agente dispersante (DUFRANC et al., 2004).

Os óxidos e hidróxidos do solo também contribuem para a agregação do solo devido à presença de cargas em sua superfície (RHOTON et al., 2003), no entanto, ela está relacionada com o pH ideal para que isso ocorra que é quando há balanço de carga negativa com cargas positivas.

Uma maneira de determinar isso é através do PCZ (Ponto de Carga Zero), que nada mais é do que o ponto onde a quantidade de cargas positivas se iguala a cargas negativas, nesse ponto ocorre floculação máxima das argilas (ALLEONI; CAMARGO, 1995). Quanto maior a diferença entre o PCZ e o pH do solo, menor a quantidade de argilas floculadas. Se o pH estiver abaixo do PCZ, haverá aumento no numero de cargas positivas e se estive acima, haverá aumento no numero de cargas negativas (ALBUQUERQUE et al., 2003).

Alleoni e Camargo (1995), demonstraram que quanto maior a participação de óxidos de Fe^{+3} e Al^{+3} na definição das cargas predominantes do solo, maior será o PCZ (Ponto de Carga Zero), já que o PCZ destes óxidos é alto (entre 7 e 9), sendo característica de solos mais intemperizados. Isso é importante principalmente nos horizontes subsuperficiais, onde há pouca matéria orgânica. Em contrapartida, solos com predominância de óxidos de Si e Mn, apresentam PCZ baixo (entre 2 e 4), característicos de solos pouco intemperizados, como os Cambissolos (FONTES et al., 2001).

Balbino et al. (2002) afirmam que os óxidos hematita e goetita formam agregados muito estáveis com gibsitita, caulinita e quartzo. Além de destacar o trabalho de Vitorino et al. (2003) onde os agregados com predominância de gibsitita, se mostraram mais estáveis estruturalmente do que os cauliniticos em estudos com Cambissolos Háplicos.

Dufranc et al. (2004) encontraram que o cátion mais eficiente na estabilização dos agregados foi o Fe^{+3} . Porém Duiker et al. (2003), afirmam que o Fe^{+3} agrega com as partículas de argila apenas quando seu pH estiver abaixo do PCZ. E segundo Rhoton et al. (2003) isso ocorre, pois, quando o pH do solo for próximo ou maior que o PCZ do Fe^{+3} , haverá predominância de carga negativa do Fe^{+3} , repelindo dessa maneira a argila ou partículas de matéria orgânica. No entanto o inverso também foi observado, que quando o pH do solo for menor, solos ácidos, o Fe^{+3} apresentou-se carregado positivamente, reagindo com as partículas da argila e matéria orgânica.

Sabe-se que a porosidade e a densidade do solo são fatores ligados à estrutura do solo e sua alteração é resultado da maior ou menor predisposição a suportarem mudanças, pois estão relacionados com a estabilidade dos agregados, que de maneira geral, representa a resistência de um agregado a sofrer alteração (BERTONI; LOMBARDI, 1999).

Pelo fato da estrutura definir o espaço poroso, sua caracterização permite a descrição do comportamento da dinâmica da água no solo, como infiltração, movimentação e retenção de água (CURMI, 1988; DUIKER et al., 2003), além de influenciar na capacidade de arraste das partículas (SALOMÃO, 1999).

Coquet et al. (2001) relataram em seus estudos com "Calcosols" (Solos calcários), que a infiltração do solo, avaliada por anéis de infiltração, foi desigual quando correlacionada com diferentes estruturas do solo. No entanto, King

et al. (2003) afirmaram que estruturas com pouca estabilidade, podem evoluir e alterar a dinâmica da água nos solos.

2.3.7 Matéria Orgânica

A matéria orgânica é constituída por restos vegetais e animais decompostos ou em estágios de decomposição, já incorporados ao solo, sendo um fator importante na agregação do solo (EMBRAPA, 2006). Bertoni e Lombardi (1999) descrevem que ela é de grande importância no controle da erosão, modificando a estrutura e a retenção de água do solo. Além disso, os microorganismos que participam do processo de decomposição e presentes no solo e as substâncias produzidas por eles, também corroboram com o processo de agregação, principalmente as hifas dos fungos e substâncias cimentantes resultantes da atividade das bactérias (BAVER et al., 1972; LONGO et al., 1999).

Conseqüentemente, atividades que provocam mudança nos índices de matéria orgânica do solo, conduzem mudanças na agregação (MULUMBA; LAL, 2008). Silva et al. (2005a) destacam que regiões com elevada temperatura média anual provocam altas taxas de oxidação da matéria orgânica, precisando de constante renovação da cobertura para manter as taxas elevadas. Além disso, com a perda da camada superficial do solo pela erosão, também ocorrem grandes perdas de matéria orgânica e de toda atividade ligada a ela (BAJRACHARYA et al., 2000).

Duiker et al. (2003) correlacionaram formação de tamanhos de agregados com fases e produtos da matéria orgânica, e encontrou que raízes e hifas de fungos são responsáveis pela estabilidade dos agregados de 0,25 milímetros, os produtos de decomposição dos restos de planta estabilizam agregados de 0,25 até 0,020 milímetros. E os agregados menores que 0,02 milímetros foram relacionados à excreção de produtos microbianos e pela interação da argila com os óxidos.

Nos solos arenosos, a matéria orgânica, promove a aglutinação de partículas, firmando a estrutura e diminuindo o diâmetro dos poros, aumentando, assim, a capacidade de retenção de água e diminuindo a suscetibilidade deste solo à erosão (DOUAOUI et al., 2004). Ainda, de acordo com os autores citados, a

matéria orgânica, mesmo a teores inferiores a 10 g Kg^{-1} , tem uma influência na agregação do solo e conseqüentemente, sobre a dispersão de argilas.

Aina (1979) atribui elevada taxa de agregação do solo e alta estabilidade de agregados ao cultivo de pastagem, devido à grande proliferação de raízes que teriam favorecido a granulação do solo. Tisdall e Oades (1980) também consideram que vegetações com sistemas radiculares extensos e abundantes possam favorecer a estabilidade dos agregados. Também podem contribuir para aumento da porosidade, devido à fragmentação do solo (LONGO et al., 1999; NDIAYE et al., 2008)

Portanto, do exposto conclui-se que a matéria orgânica contribui não só para a formação dos agregados, mas também no aumento da resistência dos mesmos a desagregação, devido à presença dos agentes cimentantes e de ligações químicas mais fortes quando associado às partículas de argila (BERTONI; LOMBARDI, 1999). Contribuindo positivamente com o armazenamento de água no solo (WESSOLEK et al., 2008).

2.3.8 Perfil Cultural

O método do “perfil cultural” (HENIN et al., 1960) adaptado aos solos tropicais por Tavares Filho et al. (1999b) é fundamentado no estudo da morfologia do solo e consiste na delimitação dos volumes antopizados distintos (modificados pelo manejo do solo), tanto em profundidade como lateralmente, a partir de critérios como: forma, tamanho e distribuição dos elementos estruturais, presença ou ausência de poros visíveis a olho nu e continuidade destes; forma e dureza de agregado e torrões, dentre outros fatores (GUIMARÃES et al., 1997; TAVARES FILHO et al., 2001; NEVES et al., 2003).

Trata-se de uma classificação piramidal em dois níveis: numa primeira etapa, estuda-se o modo de organização do perfil considerado (Tabela 2.1), diferenciando-se os volumes de solo visualmente alterados pelo manejo agrícola (AM) do visualmente não alterado pelo manejo agrícola (NAM), para, em seguida, descrever cada tipo de organização dos volumes (AM), com a maior riqueza de detalhes possível (TAVARES FILHO et al., 1999b).

Tabela 2.1 – Modos de organização do perfil de solo (1) (TAVARES FILHO et al., 1999b).

Nível de análise	Simbologia	Definição
I	AM	Volume de solo visualmente alterado pelo manejo, isto é, pelo maquinário agrícola e pelas raízes
	NAM	Volume de solo visualmente não alterado pelo manejo
II (somente para volume AM)	L	Volume de solo livre, solto, constituído por terra fina, solo pulverizado, agregados e torrões de tamanho variados (de 0 a 10cm) sem nenhuma coesão. Comum na superfície de solos trabalhados. Pode apresentar raízes em grandes quantidades, bem ramificadas, não achatadas e não tortuosas, orientadas em todas as direções. A estabilidade em água e a coesão a seco entre agregados desse volume são nulas, mas a estabilidade e a coesão dos agregados podem ser altas. A porosidade a olho nu é importante.
	F	Volume de solo fissurado, em que a individualização de torrões é facilitada pela fissuração, sendo estes de tamanho variados. Quando presentes nesse volume, as raízes se desenvolvem preferencialmente entre os torrões, nas fissuras existentes. Podem ser bem ramificadas e orientadas em todas as direções, mas normalmente apresentam aspecto achatado. A porosidade é essencialmente fissural.
	Z	Volume de solo formado essencialmente de estrutura laminar. As raízes quando presentes nesse volume, são tortuosas e com desenvolvimento horizontal. Normalmente não são ramificadas e além da tortuosidade, apresentam aspecto bem achatado.
	C	Volume de solo em que os elementos (agregados e terra fina) estão unidos, formando um volume bastante homogêneo, com aspecto de estrutura maciça, sendo impossível a individualização de torrões a olho nu. Pode apresentar raízes em grandes quantidades, bem ramificadas, não achatadas e não tortuosas, orientadas em todas as direções, quando o volume não for compacto, e, ou, não ramificadas, achatadas e tortuosas, orientadas horizontalmente, quando o volume for compacto. A porosidade é essencialmente de empilhamento de agregados, podendo apresentar cavidades arredondadas e, ou, poros tubulares.

⁽¹⁾ Nos modos de organização L e F, além do estado interno dos torrões, devem-se classificar os torrões pelo tamanho: 1 a 5cm = pequenos; 6 a 10cm = médios; > 10cm = grandes.

Numa segunda fase (Tabela 2.2), descreve-se o estado interno dos torrões presentes nos diferentes modos de organização do volume de solo mobilizado (nível II – Tabela 2.1). Nessa descrição, que deverá ser bastante criteriosa, consideram-se a estrutura dos agregados, a porosidade, a estabilidade em água, a coesão a seco, as faces de ruptura e o enraizamento (TAVARES FILHO et al., 1999b).

Tabela 2.2 – Estado interno dos torrões presentes nos diferentes modos de organização do volume de solo antropizado (TAVARES FILHO et al., 1999b).

Nível de análise	Simbologia	Definição
III	μ (Agregado não compacto)	Estado interno dos torrões caracterizados por uma distribuição de agregados com estrutura interna e externa porosa, fácil de ser observada a olho nu, com predominância de poros do tipo amontoamento de agregados. Normalmente, apresenta raízes intra e entre agregados, bem ramificadas, não achatadas, com orientação vertical não prejudicada pela compactação. As faces de ruptura são rugosas e a coesão a seco é pequena.
	Δ (Agregado compacto)	Estado interno de torrões compactados, caracterizado por uma distribuição de agregados com estrutura angulosa (poliédrica, cúbica ou prismática), devido à forte pressão externa, com uma porosidade visível a olho nu muito pouca desenvolvida, com predominância, quando existir, de poros tubulares e, ou, cavidades arredondadas, podendo existir fissuras. Quase não apresenta raízes e estas, quando presentes, possuem poucas ramificações. São achatadas, com orientação vertical prejudicada pela compactação. As faces de ruptura são principalmente lisas e a coesão a seco é muita elevada.
	$\mu\Delta/\Delta\mu$ (Agregado \pm compacto)	Estado intermediário entre agregados compactos e não compactos, com duas possibilidades: (1) Estado ($\mu\Delta$): agregados que estão em processo de compactação, mas que ainda guardam predominantemente as características do estado não compacto μ sobre as características do estado compacto Δ (definidos acima); (2) Estado ($\Delta\mu$): agregados que estão bem compactos, mas que ainda guardam algumas características do estado não compacto μ (definido acima).

Obs: Durante a análise do perfil cultural, se forem observados volumes de solo com problema de hidromorfia, volumes com concentração de matéria orgânica ou resultantes de atividade biológica, estes devem ser indicados com a seguinte simbologia: **h** para indicar hidromorfia; **b** para indicar atividade biológica, e **mo** para indicar matéria orgânica.

Essa metodologia foi aplicada poucas vezes em estudos de morfologia de Cambissolos. Destaca-se o trabalho de Ferreira (2005) que estudou o processo de degradação de solos Cambissolos em pastagens extensivas na região de Nazareno (MG).

3 ARTIGO A: EFEITO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO NA INFILTRAÇÃO DE ÁGUA EM CAMBISSOLO HÁPLICO Tb DISTRÓFICO AO LONGO DE UMA TOPOSSEQUÊNCIA

3.1 RESUMO

O processo de erosão tem gerado grandes perdas de solo, refletindo nos custos de produção e na degradação do meio ambiente. A alteração da infiltração da água contribui para o processo de erosão, sendo resultado da modificação dos atributos físicos e da perda da qualidade estrutural devido à presença de impedimentos físicos no perfil do solo, além disso, o tipo de solo pode influenciar na intensidade com que ocorre essas modificações. O Cambissolo Háplico Tb distrófico encontrado em Nazareno (MG) é caracterizado como de baixa estruturação física natural, pobreza química e reduzida permeabilidade, somado a isso, o sistema de preparo de solo convencional adotado na área pode estar contribuindo para as alterações de seus atributos. O objetivo desse trabalho foi avaliar o estado estrutural do solo e, quando da presença de impeditivos físicos, como as alterações dos atributos físicos nas unidades morfológicas homogêneas descritas afetam a infiltração de água no solo. Foi determinada uma topossequência ao longo da encosta e abertos três trincheiras localizadas no topo (T1), no meio da vertente (T2) e na base da encosta (T3). Em cada trincheira foi realizada a descrição do Perfil Cultural para a identificação das unidades morfológicas homogêneas (UMH), e nos volumes compactos e livres do solo, foi realizado a avaliação da infiltração da água por meio do anel duplo concêntrico. Foram avaliados também os atributos densidade do solo (Ds), densidade da partícula (Dp), porosidade total (Pt), macroporosidade, microporosidade, granulometria, curva de retenção de água, diâmetro médio geométrico (DMG), índice de estabilidade de agregados (IEA) e matéria orgânica (MO) por meio de metodologias descritas em Camargo et al. (1986) e Embrapa (1997). Foi utilizada a análise de componentes principais para agrupar as unidades amostrais semelhantes (combinação trincheira/unidade morfológica homogênea) quanto aos atributos físicos. A infiltração de água é reduzida nas unidades morfológicas homogêneas compactas, resultado do aumento da densidade do solo e da redução da porosidade total e macroporosidade do solo. A estabilidade dos agregados é reduzida pelo preparo do solo, contudo a presença de matéria orgânica contribui positivamente para aumentar a estabilidade. A retenção de água foi afetada positivamente com a presença de silte. O topo da encosta se mostrou mais suscetível ao processo de erosão. No entanto, a presença de cascalhos no meio da encosta não permitiu a formação de agregados. A base da encosta é menos suscetível a remoção e desagregação pela chuva por apresentar maior DMG e IEA.

Palavras-chave: Análise de componentes principais. Perfil cultural. Densidade do solo. Porosidade total. Estabilidade de agregados. Matéria orgânica. Curva de retenção de água.

ABSTRACT: EFFECT OF SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES IN THE WATER INFILTRATION IN HAPLANTHREPTS INCEPTISOLS THROUGHOUT A TOPOSEQUENCE

The process of erosion has created major soil losses, reflecting the costs of production and the degradation of the environment. The alteration to water infiltration of contributes to the process of erosion, being the result of the modification of physical attributes and the loss of structural quality due the presence of physical impediments in the soil profile, besides, the soil type can influence in intensity with that it occurs these modifications. The Haplanthrepts Inceptisols in Nazareth (MG) is characterized of as low natural structure physical, chemical poverty and reduced permeability, the conventional system of soil tillage adopted in the area can be contributing for the alterations of its attributes. The objective of this work was to evaluate the structural state of the soil and, where the presence of impeding physical, as the alterations to the physical attributes of the morphological homogeneous units (UMH) described affect the water infiltration. Was determined a toposequenc along the slope and open three trenches located in top(T1), a middle slope (T2) and on the base of the hillside (T3), in each trench was performed the Cultural Profile description for identification of the units morphological homogeneous (UMH), and in volumes compact and free from soil, the evaluation of the water infiltration was carried through by the double ring concentric, were also evaluated attributes of soil bulk density (Ds), particle density (Dp), total porosity (Pt), macroporosity, microporosity, texture, geometric average diameter (DMG), aggregate stability index (IEA), organic matter (MO), and water retention curve by means of described methodologies in Camargo et al. (1986) and Embrapa (1997). The analysis of main components was used to group the units shows fellow creatures (combination trench/homogeneous morphologic unit) how much to the physical attributes. The water infiltration decrease of morphological homogeneous units compacts, related to higher values of bulk density and lower total porosity. The aggregate stability is reduced with soil tillage, however the MO presence contributed to increase the aggregates stability. The Water retention was positively affected with the presence of silt. However the presence of gravel on the middle hillside did not allow the aggregate formation. The basis hillside is less susceptible to remove and disaggregation by the rain for presenting largest DMG and IEA, the less reduction of infiltration allowing that redistribution occurs of water in the profile.

Keywords: Main components analysis. Cultural profile. Bulk density. Total porosity. Aggregates stability. Organic matter. Water retention curve.

3.2 INTRODUÇÃO

O processo de degradação do solo tem gerado grandes perdas de solo, refletindo diretamente nos custos de produção e na qualidade da água, principalmente quando a agricultura é realizada sobre solos predispostos à erosão (LAL; ELLIOT, 1994; BERTONI; LOMBARDI, 1999; FAVARETTO et al, 2006; PANACHUKI et al, 2006). Dentre esses solos, o Cambissolo Háplico Tb distrófico encontrado em Nazareno - MG, caracterizado por solo de formação recente, geralmente com pequena espessura de solum, pobreza química, baixa estruturação física e baixa permeabilidade (FERREIRA, 2005; MELLO et al, 2005; SILVA et al, 2005b) considerado altamente susceptível à degradação, principalmente a erosão hídrica, devido ao seu alto teor de silte e pequena espessura de solo (RESENDE et al, 1990).

Silva et al. (2005b) avaliando um Cambissolo Háplico Tb distrófico típico e um Latossolo Vermelho Distroférrico típico, quanto à perda de solo pelo efeito da chuva, encontrou que para o Cambissolo as perdas anuais eram correspondentes a 205,65 Mg ha⁻¹, e para o Latossolo 14,90 Mg ha⁻¹, comprovando a maior susceptibilidade do Cambissolo Háplico Tb distrófico ao efeito erosivo da chuva.

A erosão hídrica é provocada pela degradação da estrutura do solo com o impacto da gota da chuva, ocasionando a desagregação das partículas superficiais e provocando o entupimento dos poros (selamento). Resultando com isso em taxas de infiltração menores e maiores volumes de escoamento superficial, o que agrava a erosão, devido ao maior arraste de partícula pela enxurrada e deposição em outro local (BERTONI; LOMBARDI, 1999; WAKINDIKI; BEN-HUR, 2002; ALVES SOBRINHO et al, 2003; COGO et al, 2003; CANTALICE et al, 2005; LEGUÉDOIS et al., 2005; MAMEDOV et al., 2006).

Esse processo erosivo pode ser intensificado quando a estruturação do solo é alterada dentro do perfil e ao longo da encosta, principalmente pela diminuição da porosidade do solo, resultando em menor infiltração de água e maior escoamento, e pela redução na estabilidade de agregados, devido à redução na resistência a desagregação e menor tamanho de agregados resultando em maiores

perda de solo (COQUET et al., 2001; ALVES SOBRINHO et al., 2003; COGO et al., 2003; BODHINAYAKE et al.; 2004; PANACHUKI et al., 2006).

Uma das formas de alterar o fluxo de água no solo é através de camadas de impedimentos, como a compactação superficial provocada pelo cultivo, que aumenta a densidade do solo e reduz a macroporosidade, principalmente em horizontes desprovidos de microagregados (BALBINO et al., 2002; LAHLOU et al., 2005). Quando da presença de tais camadas, além da redução da infiltração em superfície, ocorrem movimentação de água subsuperficial lateralmente, agravando a erosão pela movimentação de solo subsuperficial (LAHLOU et al., 2005).

Assim, métodos capazes de diagnosticar os impedimentos físicos (compactação ou adensamento) através da avaliação qualitativa dos volumes do solo como o perfil cultural ganham importância principalmente somados a outros parâmetros físicos (quantitativos), possibilitando melhor visão dos efeitos das camadas de impedimento na infiltração de água no solo e compreensão do processo de erosão (TAVARES FILHO et al., 1999a; TAVARES FILHO et al., 2001).

Estudos que visam diagnosticar a estrutura do solo e sua influência na infiltração de água ao longo da encosta por meio de avaliações dos atributos físicos do solo se mostram promissores para o entendimento do processo erosivo, bem como da criação de sistemas de manejo que visem à conservação do solo através de melhorias na estruturação do solo a ponto de reduzir o escoamento e o arraste de partículas (RHOTON et al., 2003). Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o estado estrutural do solo e a infiltração de água em Cambissolo Háplico sob sistema de preparo convencional.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

As avaliações foram realizadas em uma propriedade agrícola localizada no município de Nazareno, na região sudeste do Brasil, no estado de Minas Gerais (Figura 3.1), mesorregião Campo das Vertentes. Integra a unidade geomorfológica da superfície cristalina do Alto Rio Grande, sua posição geográfica é -21,21639 graus de latitude sul e -44,61139 graus de longitude oeste de Greenwich, com altitude média de 935 m e área de 324 km² (IBGE, 2000).

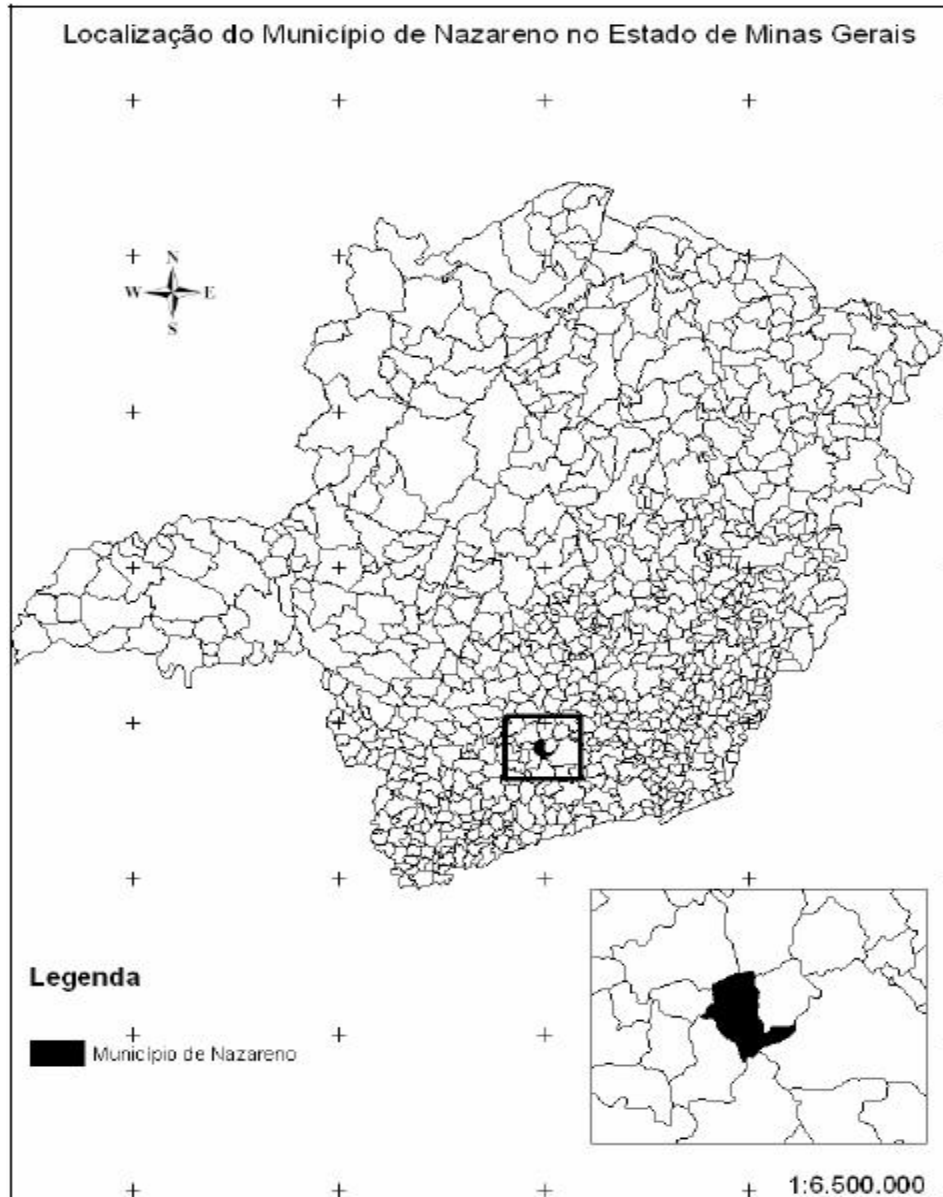


Figura 3.1 – Mapa de localização do município de Nazareno no estado de Minas Gerais, escala 1:6.500.000.

Fonte: Ferreira (2005)

O clima é do tipo Cwa segundo a classificação de Köeppen, caracterizado como tropical de altitude com invernos frios e secos e verões quentes e úmidos. As chuvas, portanto, ocorrem concentradas nos meses de novembro a fevereiro, com uma precipitação média anual de 1.200 a 1.500 mm (Figura 3.2). A temperatura média anual varia de 18 a 19° C. (FERREIRA, 2005).

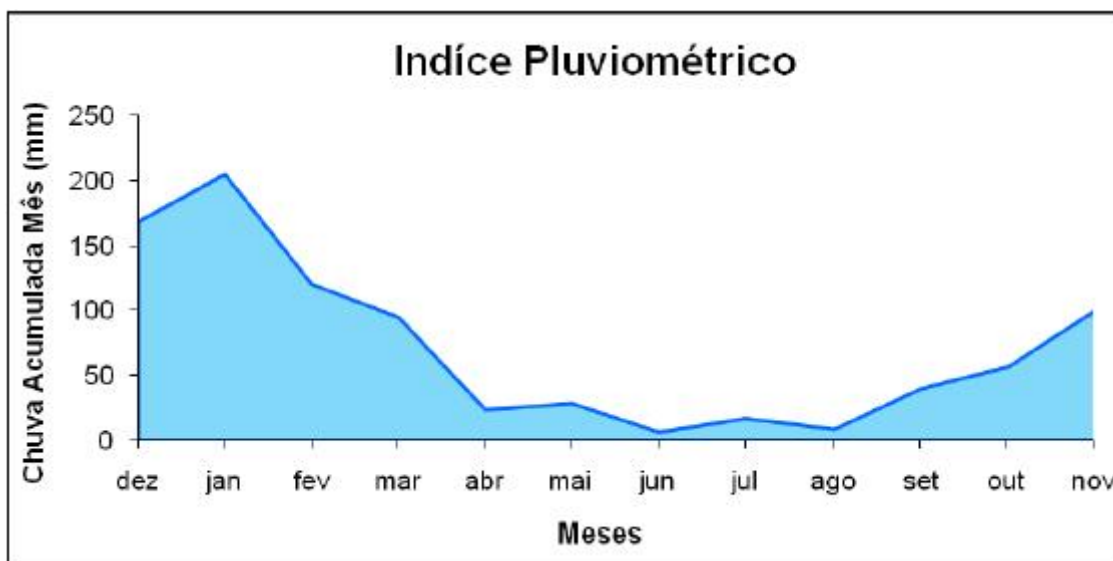


Figura 3.2 – Índice pluviométrico anual de Nazareno – MG, composto das médias de precipitação dos últimos 10 anos.

Fonte: Projeto Maria de Barro

A região é marcada por intensos e graves processos erosivos com presença importante de voçorocas (Figura 3.3), associados a origens históricas, potencializados por atributos físicos e químicos dos solos locais e pela má utilização antrópica. A maior parte do uso atual das terras encontra-se em desacordo com sua real aptidão agrícola (sistema agrícola / sistema pedológico), sendo principalmente ocupada por pastagens secundárias que, em alguns casos, surgiram após o abandono da lavoura (FERREIRA, 2005).

As principais características do sistema agropecuário adotado a partir de então, são as utilizações de fogo para manejo da pastagem, poucas utilizações de práticas conservacionistas como terraço e plantio em nível, e não utilização de calagem e análises de solo para manejo de sua fertilidade, além da utilização do sistema convencional de preparo do solo com a utilização de arado de disco e grade niveladora (FERREIRA, 2005).

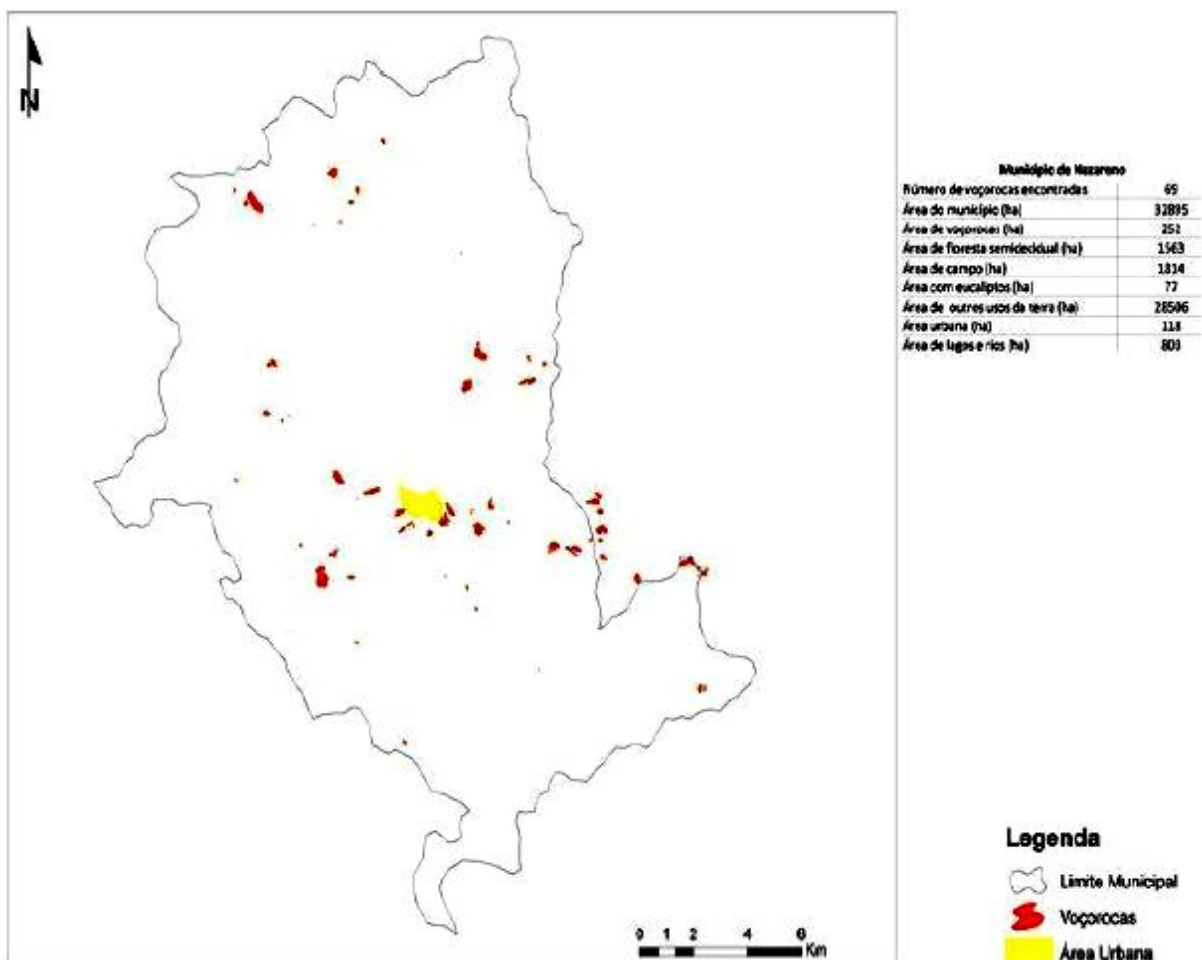


Figura 3.3 – Mapa de voçorocas do município de Nazareno-MG.

Fonte: Ferreira (2005)

A propriedade agrícola escolhida para o estudo está localizada nas posições geográficas -21.2408 graus de latitude sul e -44.60468 graus de longitude oeste de Greenwich, e situada sobre Cambissolo Háplico Tb distrófico, com declividade média de 15% (10°) (Figura 3.4). A área é cultivada com milho no verão no sistema convencional, com uma operação de gradagem (sentido do declive), seguida pela semeadeira, para implantação da cultura. Após a colheita, a palhada é deixada no campo, servindo de alimento para o gado que é liberado na área. O solo é deixado em pousio até a época das chuvas, onde é repetido o mesmo manejo anterior, não havendo rotação de cultura. Nesse local existe uma voçoroca de aproximadamente 1.000 m² e com profundidade variando até 10 metros, motivo pelo qual se escolheu a área para estudo (Figura 3.5)

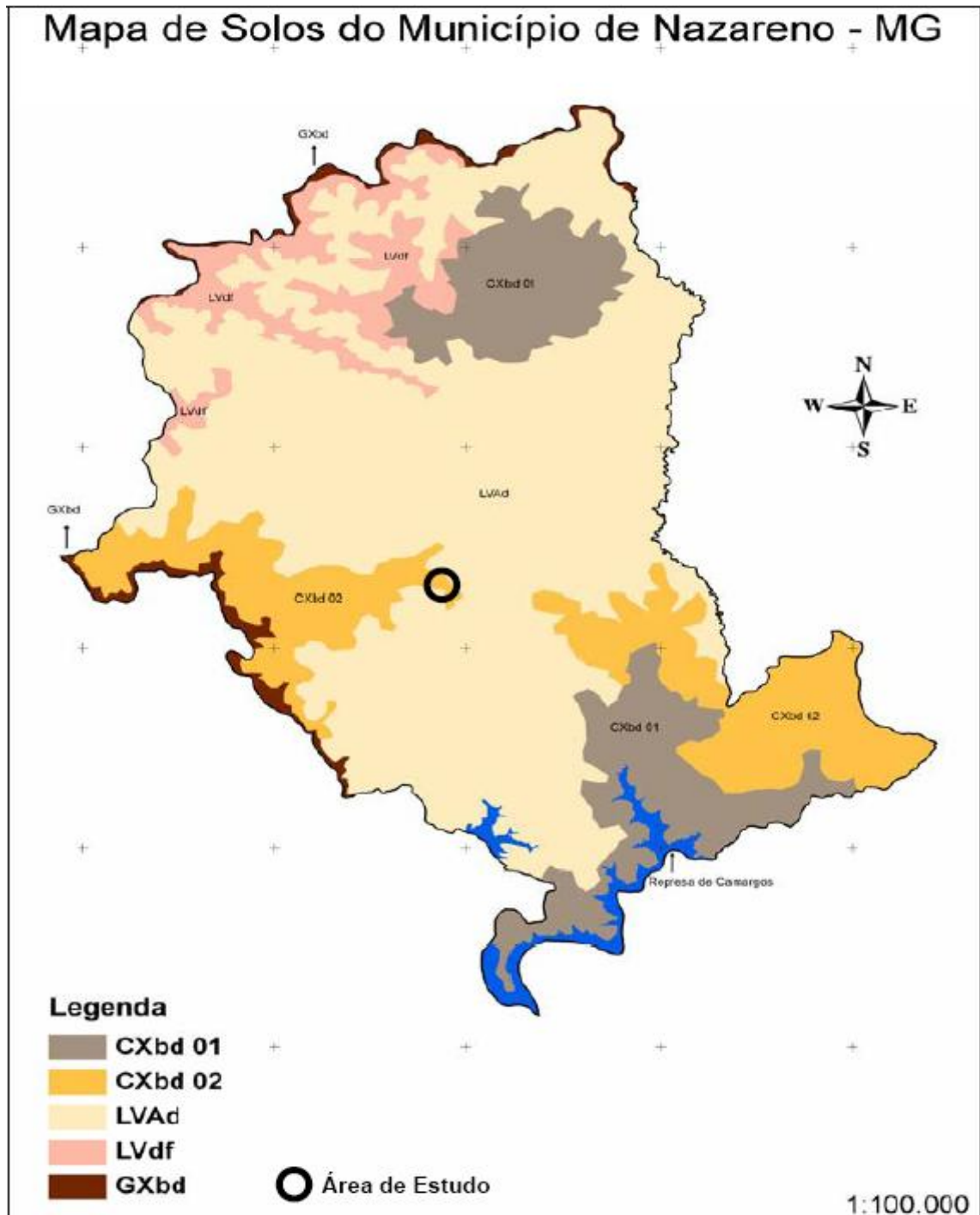


Figura 3.4 – Mapa de solos do município de Nazareno e localização da área de estudo, escala 1:100.000.

Fonte: Ferreira (2005).

Legenda - CXbd01: 80% CXbd + 10% RLd + 10% AR; CXbd02: 75% CXbd + 25% LVAd; GXbd: GXbd e Rubd indiscriminados; LVAd: 50% LVAd + 35% CXbd + 25% LVd; LVdf: 50% LVdf + 25% CXbd + 25% LVAd.

LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, argiloso a muito argiloso, A moderado; LVdf: Latossolo Vermelho Distroférrico húmico e típico, muito argiloso, A moderado e A húmico álico; LVd: Latossolo Vermelho Distrófico típico, argiloso a muito argiloso, A moderado; CXbd: Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico, argiloso, A moderado álico; GXbd: Gleissolo Háptico Tb distrófico; Rubd: Neossolo Flúvico Tb distrófico; RLd: Neossolo Litólico distrófico típico; AR: Afloramento Rochoso.



Figura 3.5 – Cambissolo Háplico Tb distrófico com erosão em voçoroca e localização da topossequência no terreno. (Foto: Luiz Rafael Ferrari Pesce)

Ao lado da voçoroca foi traçada uma topossequência com 100 metros, no sentido do declive, e realizado a abertura de 3 (três) trincheiras, sendo uma no topo da encosta (T1), outra no meio (T2) e uma na base (T3) (Figura 3.5 e Figura 3.6).

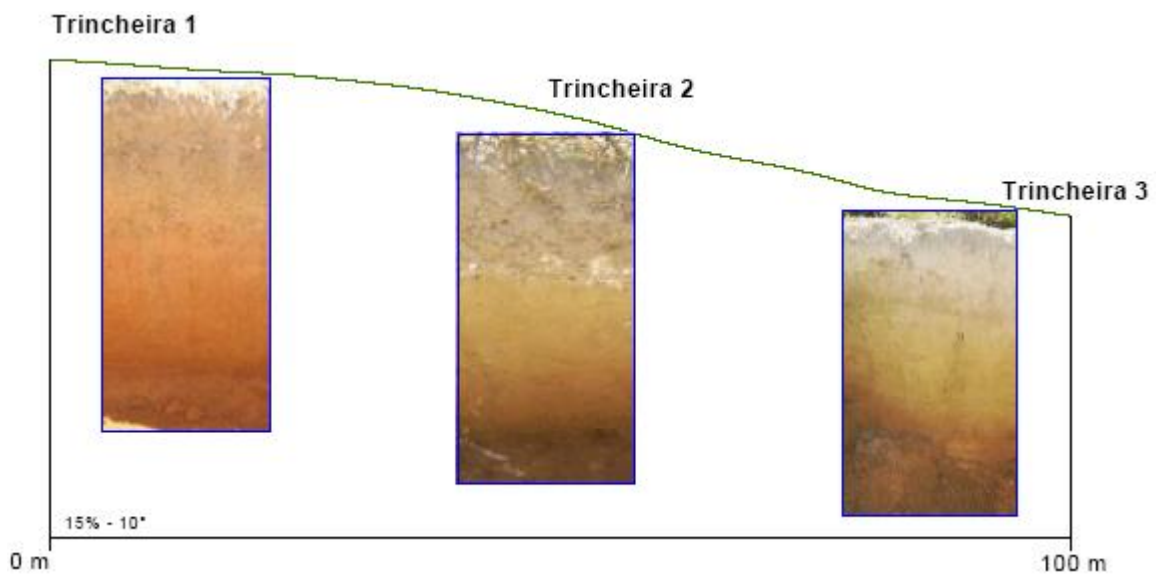


Figura 3.6 – Trincheira 1 (topo), trincheira 2 (meio) e trincheira 3 (base) localizadas ao longo de uma topossequência no município de Nazareno – MG, em Cambissolo Háplico T distrófico. (Foto: Luiz Rafael Ferrari Pesce)

Em cada trincheira fez-se o diagnóstico da organização macroscópica do solo, e avaliação da presença ou não de camadas de impedimentos (Δ) segundo a metodologia do perfil cultural (TAVARES FILHO et al., 1999b) e, em seguida a essa descrição foi realizado um teste de infiltração de água na superfície do solo, sobre as estruturas compactas (Δ).

A determinação da taxa de infiltração de água (T_i) foi realizada através da metodologia do anel duplo concêntrico de infiltração. O método se baseia na aplicação de uma carga constante de água sobre o solo e mede o volume infiltrado em determinado tempo. Para isso, tomam-se dois anéis um com 0,15 m e outro com 0,30 m e são enterrados a 0,05 m no solo, providenciando a alimentação com água no interior de ambos de forma a manter uma lâmina constante. A água no cilindro externo controla o movimento lateral da água do cilindro central, onde são feitas as medições (CAMARGO et al., 1986). Para estimar a taxa de infiltração e construção dos gráficos foi utilizado o programa Excel do Windows para determinar a equação de Regressão Potencial $V = a \cdot t^b$, onde V é a taxa de infiltração num tempo t (h) e a , b são coeficientes de ajuste obtidos por regressão.

Também, antes da realização da infiltração da água nas 3 (três) trincheiras, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas para análise da densidade do solo (D_s) pelo método do anel volumétrico, da densidade da partícula (D_p) pelo método do picnômetro, da macroporosidade e microporosidade utilizando-se a mesa de tensão com potencial de -6 kPa, segundo Embrapa (1997) e Mathieu e Pieltain (1998) e da porosidade do solo (P_t) através da equação $P_t = 1 - (D_s/D_p)$. A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta segundo Tavares Filho e Magalhães (2008) com agitação lenta no agitador rotatório de Wiegner a 30 rpm com adaptação devido à utilização de areia grossa para aumentar a dispersão mecânica das partículas, e a estabilidade de agregados em água (índice de estabilidade de agregados (IEA) e diâmetro médio geométrico (DMG)) foi feito pelo método do peneiramento em água proposto por Yoder (1936), descritos por Camargo et al. (1986).

A matéria orgânica (MO) foi determinada pela oxidação por via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico (EMBRAPA, 1997)

Ainda com as amostras deformadas, foi determinada a umidade gravimétrica do solo nas tensões 1, 10, 50, 257 e 490 kPa no aparelho extrator de Richards, descrito em Embrapa (1997). Com a umidade gravimétrica, estimou-se a

umidade volumétrica em função do potencial matricial utilizando o modelo proposto por van Genuchten (1980) (Equação 1) para confecção da curva de retenção de água do solo (Cra).

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

$\theta, \theta_s, \theta_r$:	<i>Umidade do solo, umidade solo saturado e umidade residual.</i>	Equação
Ψ_m :	<i>Potencial matricial da água no solo.</i>	(1)
α, n e m	<i>Coefficientes da equação, valores de $0 < \alpha < 1$, $n > 1$ e $0 < m < 1$</i>	

Para determinar os coeficientes α , n e m , foi utilizado o programa “Soil Water Curve Retention” (SWCR) versão 3.0 desenvolvida por Dourado Neto et al. (2000), e em seguida o programa Excel do Windows na construção das curvas de retenção.

Quando da presença de cascalhos e calhaus na unidade morfológica homogênea (UMHcascalho) devido a impossibilidade de coleta com o anel de Kopeck, a densidade do solo foi determinada pelo método do torrão impermeabilizado (EMBRAPA, 1997).

A análise dos Componentes Principais para os dados de física de solo das três trincheiras nas unidades morfológicas homogêneas e a Classificação Hierárquica foram feitas através do programa SPAD versão 3.5. (CISIA-CERESTA, 1998). Trata-se de técnicas exploratórias que foram utilizadas com o objetivo de agrupar as unidades amostrais semelhantes (combinação trincheira/unidade morfológica homogênea) quanto aos atributos físicos. O algoritmo (processo interativo) de agregação utilizado foi baseado no método do crescimento mínimo do momento de ordem dois (Método de Ward) (CISIA-CERESTA, 1998).

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1 Descrição das Unidades Morfológicas Homogêneas (UMH)

Verificou-se na superfície do solo das 3 trincheiras (Figura 3.7) uma UMH_(L) constituída de terra fina e torrões de tamanho variados, com microagregados descontínuos, poroso, apresentando porosidade visível a olho nu.

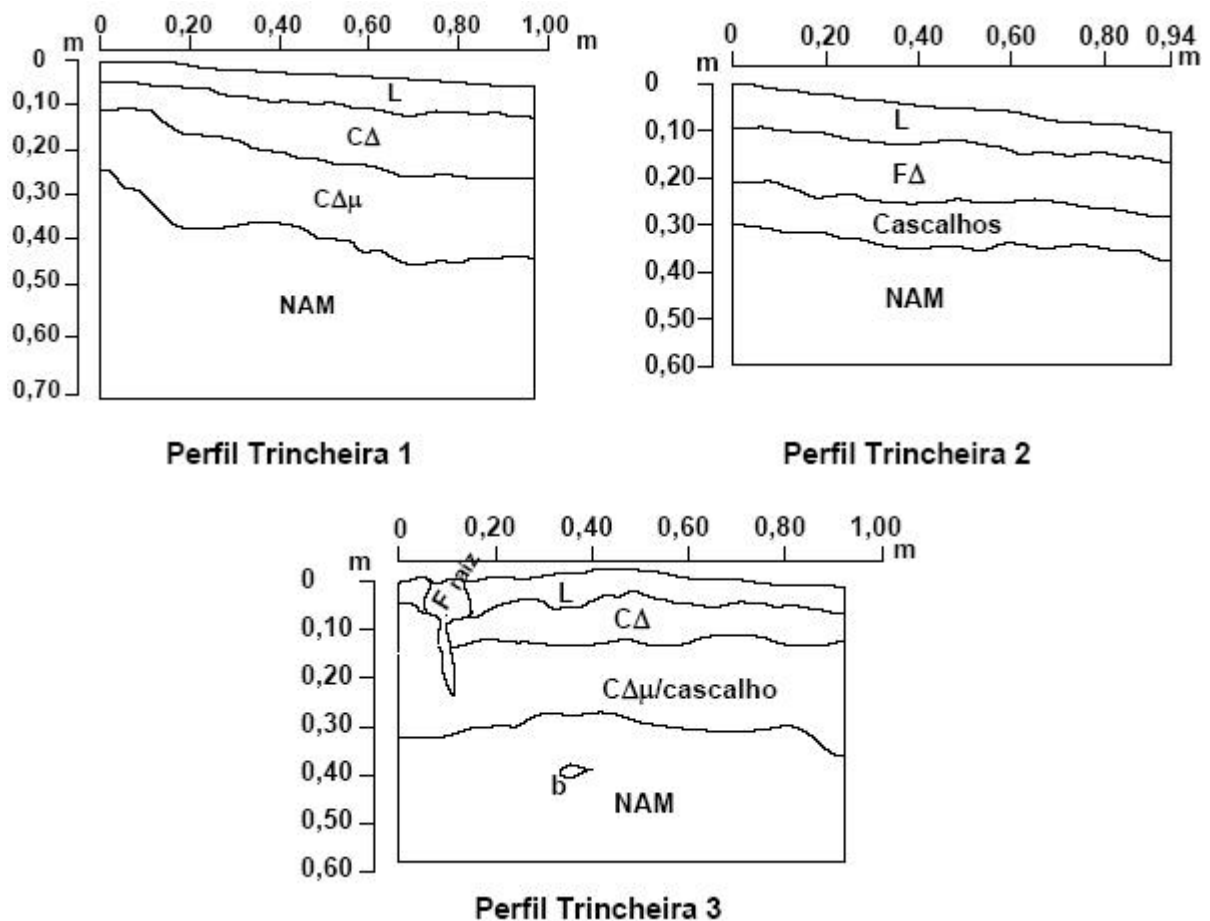


Figura 3.7 – Perfis Culturais do Cambissolo Háplico Tb distrófico ao longo da topossequência (T1, T2 e T3) com respectivas classificações no município de Nazareno – MG.

Legenda: L- Unidade morfológicamente homogênea (UMH) livre (L), constituída de agregados e torrões de tamanho variados; CΔ - UMH_(C), formada por torrões compactos (Δ), FΔ - UMH_(F), formada por torrões compactos (Δ). CΔμ - UMH_(C), formada por torrões com sinais de compactação (Δμ). CΔμ/cascalho - UMH_(C), formada por torrões com sinais de compactação (Δμ), e presença de cascalhos. Cascalho - volume de solo constituído por cascalhos e calhaus. F raiz - Volume de solo fissurado (F) com presença de raiz e porosidade visível. b - galeria de cupins. NAM - volume de solo não antropizado.

Abaixo dessa primeira $UMH_{(L)}$ foi encontrado nas T1 e T3 uma $UMH_{(C)}$, formada por torrões grandes e médios, compactos (Δ), face de ruptura angular, com espessura de 0,10 a 0,15 m na T1 e 0,10 m na T3. Na T2 foi encontrada uma $UMH_{(F)}$ abaixo da $UMH_{(L)}$ com porosidade fissural visível, formada por torrões pequenos e médios, compactos (Δ), face de ruptura sub-angular e com presença de algumas raízes, e espessura semelhante (0,10 m) as T1 e T3. Na sequência dessa $UMH_{(F\Delta)}$, existe um volume de solo constituído por cascalhos e calhaus de aproximadamente 0,15 m de espessura e, na sequência foi observado um volume de solo sem interferência antrópica (NAM). A presença da $UMH_{(cascalhos)}$ é típica de alguns Cambissolos (FERREIRA, 2005), e denota nessa trincheira como uma barreira à ação antrópica, pelo fato do preparo do solo não ultrapassar esse volume. No entanto, a presença de cascalhos altera a dinâmica da água no perfil do solo e favorece a susceptibilidade a erosão, por não apresentar barreira para a remoção das partículas pela força da água, resultado da falta de estabilidade de agregados característicos desses volumes.

Abaixo das UMH compactas (Δ) das T1 e T3 foi encontrada uma $UMH_{(C)}$, com estado interno dos torrões com sinais de compactação ($\Delta\mu$), sendo a principal diferença entre as duas trincheiras o fato de na T3 ocorrer a presença de alguns cascalhos. Logo após essas $UMH_{(C\Delta\mu)}$ e $C_{\Delta\mu/cascalho}$ foram encontrados unidades morfológicas homogêneas não antropizadas (NAM), caracterizadas como horizontes pedológicos Bi do Cambissolo Háplico Tb distrófico.

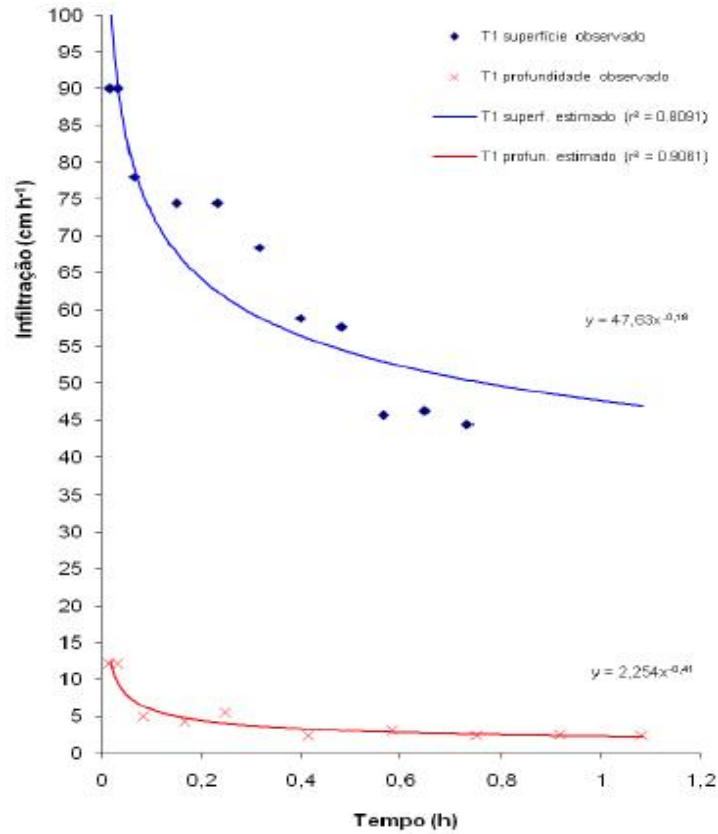
Os resultados apresentados mostram uma sequência de estruturas mais ou menos parecida na topossequência estudada, ou seja, na superfície predomina a $UMH_{(L)}$, seguida de uma estrutura compacta (Δ) e variações dessa compactação ao longo do perfil com maior ou menor inclusão de cascalho à medida que vai em direção ao ponto mais baixo da paisagem. Esses resultados estão em acordo com Tavares Filho et al. (1999a), os quais mostram que o sistema de preparo convencional, comumente utilizado no local, com gradagem para o plantio do milho, tende a formar $UMH_{(L)}$ na superfície do solo e $UMH_{(\Delta)}$ abaixo desta. Além disso, o fato da $UMH_{(L)}$ ser mais espessa na trincheira 2 (0 - 0,10 m), que nas trincheiras 1 e 3 (0 - 0,05 m), pode estar associado à presença de raízes encontradas na trincheira 2 (T2), uma vez que a menor espessura da UMH na trincheira 1 e 3 (T1 e T3) deve ser consequência da remoção pela erosão, por não apresentar impedimento,

enquanto que na T2 a presença de raízes contribuiu para aumentar a resistência a remoção dos agregados e por estar associado à cobertura vegetal (MULLER et al. 2001).

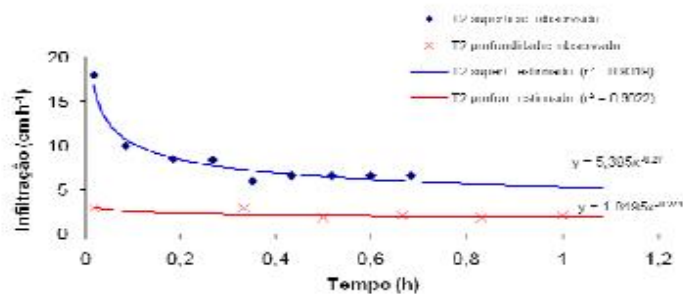
3.4.2 Atributos Físicos e Hídricos das diferentes UMH encontradas nos perfis analisados

Os resultados de infiltração da água (Figura 0.8) realizados na superfície ($UMH_{(L)}$ - superfície) e nos UMH compactas (Δ - profundidade) nas 3 trincheiras (T1, T2 e T3) mostraram redução na capacidade de infiltração da água em profundidade, estando de acordo com o esperado, segundo a descrição do perfil cultural (Figura 3.7). Estes resultados estão em acordo com Juhasz et al. (2006), os quais mostraram que a infiltração pode ser alterada em profundidade ao longo de uma topossequência devido a volumes impeditivos, o que aumenta o risco de erosão nessas áreas.

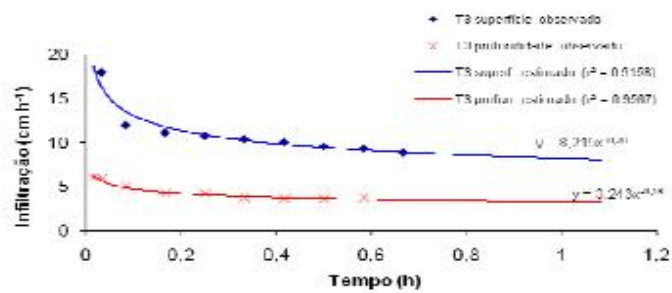
Ao comparar a taxa de infiltração das 3 trincheiras (T1, T2 e T3) no tempo inicial (0h) e após 1 hora (1h) na superfície e em profundidade (Figura 0.8), encontra-se uma inclinação perpendicular ao eixo tempo (eixo x) maior na superfície que em profundidade (mais paralela ao eixo). Essa maior infiltração inicial entre os tempos de 0 – 0,3 hs e redução da infiltração com a passagem do tempo se deve, provavelmente no início à existência de uma $UMH_{(L)}$ e, posteriormente ao efeito desagregador do impacto da gota da chuva resultando no selamento superficial, que tende a entupir os poros e diminuir a infiltração (WAKINDIKI; BEN-HUR, 2002). Em profundidade, considerando a existência de $UMH_{(\Delta)}$, portanto com baixa porosidade, já era de se esperar maior resistência à infiltração da água nessa estrutura pelo fato das partículas estarem mais coesas, quando comparado com os volumes L de superfície.



Perfil Trincheira 1



Perfil Trincheira 2



Perfil Trincheira 3

Figura 0.8 – Taxa de infiltração de água em Cambissolo Háplico Tb distrófico ao longo de uma topossequência (T1, T2 e T3) e em duas profundidades em cada trincheira (superfície-L, e profundidade-Δ)

Os valores de porosidade total (Pt), sempre foram acompanhados de valores elevados de macroporosidade nas $UMH_{(L)}$ ($0,47 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$) (Tabela 0.1), confirmando o porquê de tais UMH apresentarem infiltração de água maior que as $UMH_{(\Delta)}$, (T1- $0,39 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$; T2- $0,43 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$; T3- $0,42 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$). A maior redução da infiltração em profundidade com relação à superfície foi na T1, resulta da diferença entre a porosidade total na $UMH_{(L)}$ ($0,47 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$) e na $UMH_{(\Delta)}$ ($0,39 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$) ser maior que nas outras trincheiras (T2 e T3). Essa redução da porosidade total, assim como da infiltração, é resultado do aumento da densidade do solo (Ds), tendo como origem a compactação ocasionada pelo sistema de preparo do solo, (TAVARES FILHO et al., 1999a). Nas T1 e T3 pode ter origens também nos processos de migração de argila (Figura 0.8) da superfície ($UMH_{(L)}$) para a $UMH_{(\Delta)}$, e na T2, pode estar relacionado à migração do silte para a $UMH_{(\Delta)}$ (MOTA et al., 2008)

Tabela 0.1 – Resultados das análises de densidade do solo (Ds), densidade da partícula (Dp), porosidade total (Pt), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e textura do Cambissolo Háplico Tb distrófico ao longo da topossequência (T1, T2 e T3) e nas unidades morfológicas homogêneas em Nazareno – MG.

Trincheira	UMH	Textura				Ds	Dp	Pt	Macro	Micro
		Argila	Silte	Areia F*	Areia G*					
		<i>g kg⁻¹</i>				<i>Mg m³</i>		<i>m³ m⁻³</i>		
T1	L	165,0	204,3	326,0	304,7	1,24	2,60	0,47	0,27	0,20
	C Δ	215,0	152,1	372,4	260,5	1,52	2,55	0,39	0,09	0,30
	C $\Delta\mu$	265,0	250,5	256,0	228,5	1,45	2,62	0,43	0,10	0,33
	NAM	230,0	281,7	227,9	260,4	1,44	2,68	0,42	0,08	0,34
T2	L	240,0	150,5	346,0	263,5	1,25	2,63	0,47	0,21	0,26
	F Δ	185,0	274,2	257,9	282,9	1,34	2,57	0,43	0,23	0,20
	Cascalho	185,0	220,4	258,5	336,1	2,17	2,64	**	**	**
	NAM	115,0	391,6	222,3	271,1	1,33	2,65	0,44	0,12	0,32
T3	L	150,0	181,1	260,9	408,0	1,25	2,46	0,47	0,24	0,22
	C Δ	185,0	154,9	236,9	423,2	1,40	2,23	0,42	0,17	0,25
	C $\Delta\mu$ /cascalho	255,0	43,0	287,8	414,2	1,51	2,34	0,35	0,13	0,22
	NAM	305,0	37,1	321,2	336,7	1,56	2,65	0,37	0,07	0,30

* Areia F = Areia Fina; Areia G = Areia Grossa

Legenda: L- Unidade morfológica homogênea (UMH) livre (L), constituída de agregados e torrões de tamanho variados; C Δ - UMH_(C), formada por torrões compactos (Δ), F Δ - UMH_(F), formada por torrões compactos (Δ). C $\Delta\mu$ - UMH_(C), formada por torrões com sinais de compactação ($\Delta\mu$). C $\Delta\mu$ /cascalho - UMH_(C), formada por torrões com sinais de compactação ($\Delta\mu$), e presença de cascalhos. Cascalho – volume de solo constituído por cascalhos e calhaus. F raiz – Volume de solo fissurado (F) com presença de raiz e porosidade visível. b – galeria de cupins. NAM – volume de solo não antropizado.

Na T2 não foi possível determinar a porosidade total, macroporosidade e microporosidade na UMH_(Cascalhos) devido à dificuldade em coletar amostra em camadas com predominância de cascalhos e calhaus.

Os resultados de macroporosidade, reconhecida como a classe de diâmetro de poros acima de 50 μm responsável pela infiltração de água no solo, explicou satisfatoriamente a infiltração nas T1 e T3. Camareira et al. (2003) trabalhando com solos siltosos, encontraram que o aumento da infiltração está relacionado com o aumento da macroporosidade. Porém na T2 é interessante notar que houve um ligeiro aumento da macroporosidade da UMH_(L) ($0,21 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$) para UMH_(F Δ) ($0,23 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$) e para a microporosidade ocorreu o inverso, diminuiu da UMH_(L) ($0,26 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$) para a UMH_(F Δ) ($0,20 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$), não seguindo a lógica da relação da infiltração da água nos poros do solo, que de acordo com Lipiec et al. (2006) a infiltração ocorre nos macroporos do solo, devido a redução na força de retenção da água nos poros.

Provavelmente o que acontece na T2 é que o aumento da macroporosidade na UMH compacta pode estar relacionado com a presença do volume fissurado, sendo coletada uma zona de fissura, resultando em valores maiores de macroporosidade, enquanto que a avaliação da infiltração abrange uma área maior, reduzindo o efeito individual da fissura. Contudo, a redução da microporosidade na UMH_(F Δ) também pode ser resultado da compactação causada pelo preparo do solo que tornou a UMH mais densa, somado ao que foi exposto anteriormente.

Na T2 também não foi possível determinar a estabilidade de agregados (Tabela 0.2) da UMH_(cascalho), pois quando volumes têm predomínio de cascalhos, dificultam a agregação do solo por reduzirem a possibilidade de contato entre as partículas do solo e assim as interações para os processos de agregação. As amostras da UMH_(F Δ) para diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA) foram perdidas, não sendo possível apresentar resultados.

As UMH_(Δ) nas T1 e T3 obtiveram os maiores valores de DMG (7,155 e 6,99 mm, respectivamente), sendo resultado da compactação (Tabela 0.2), por comprimir os agregados entre si, tornando-os mais coesos.

Nas $UMH_{(L)}$ nas T1 e T3 o DMG (4,845 e 5,864 mm) foram menores que nas $UMH_{(\Delta)}$, fato observado na descrição do perfil cultural (Figura 3.7), segundo Mota et al. (2008), o tamanho dos agregados estáveis em superfície são menores que em profundidade pelo fato do sistema de manejo convencional promover a destruição dos agregados na camada arável, determinando a maior suscetibilidade dessas $UMH_{(L)}$ a erosão, por serem removidos mais facilmente que as UMH compactas pelo escoamento (REICHERT et al. 1993; WOHLBERG et al., 2004).

Tabela 0.2 – Resultados das análises de diâmetro médio geométrico (DMG), índice de estabilidade de agregados (IEA) e matéria orgânica (MO) do Cambissolo Háplico Tb distrófico ao longo da topossequência (T1, T2 e T3) e nas unidades morfológicas homogêneas em Nazareno – MG.

Trincheira	UMH	DMG	IEA	M.O
		<i>mm</i>		<i>g Kg⁻¹</i>
T1	L	4,845	0,381	1,76
	C_{Δ}	7,155	0,529	1,90
	$C_{\Delta\mu}$	5,060	0,536	0,68
	NAM	2,814	0,400	0,81
T2	L	3,804	0,377	1,08
	F_{Δ}	***	***	2,03
	Cascalho	***	***	2,03
	NAM	3,544	0,356	0,68
T3	L	5,864	0,589	3,11
	C_{Δ}	6,999	0,548	2,71
	$C_{\Delta\mu}$ /cascalhos	4,345	0,311	1,62
	NAM	2,837	0,289	1,62

Legenda: L- Unidade morfológica homogênea (UMH) livre (L), constituída de agregados e torrões de tamanho variados; C_{Δ} - $UMH_{(C)}$, formada por torrões compactos (Δ), F_{Δ} - $UMH_{(F)}$, formada por torrões compactos (Δ). $C_{\Delta\mu}$ - $UMH_{(C)}$, formada por torrões com sinais de compactação ($\Delta\mu$). $C_{\Delta\mu}$ /cascalho - $UMH_{(C)}$, formada por torrões com sinais de compactação ($\Delta\mu$), e presença de cascalhos. Cascalho – volume de solo constituído por cascalhos e calhaus. F raiz – Volume de solo fissurado (F) com presença de raiz e porosidade visível. b – galeria de cupins. NAM – volume de solo não antropizado.

A $UMH_{(L)}$ na T2 tem DMG (3,804mm) menor que nas $UMH_{(L)}$ na T1 (4,845mm) e T3 (5,864mm), dessa maneira é mais suscetível a remoção pela água, porém a presença de raízes, associado a cobertura vegetal, contribuiu para reduzir a perda por remoção, devido a maior espessura da $UMH_{(L)}$ (T2) em relação as $UMH_{(L)}$ na T1 e T3 (MULLER et al., 2001).

O IEA das $UMH_{(L)}$ na T1 (0,381) e T2 (0,377) foram menores que na T3 (0,589) e próximos entre si, esses valores denotam que as tais UMH oferecem menor resistência a desagregação pela força da água que na T3, aumentando o risco do topo e do meio da encosta sofrerem perdas por erosão, porém na T3 a $UMH_{(\Delta)}$ mesmo apresentando DMG maior, tem maior estabilidade dos agregados na $UMH_{(L)}$, que decresce em profundidade. De acordo com Leguédois et al. (2005), o IEA representa a resistência que o solo tem em ser desagregado pela força da água, sendo que quanto menor os valores obtidos, menor a resistência a desagregação.

Os valores de IEA podem ser possivelmente explicados pela presença de matéria orgânica (MO) (Tabela 0.2) nas $UMH_{(L \text{ e } \Delta)}$. Na T1 o maior valor de estabilidade de agregado está relacionado $UMH_{(\Delta)}$ (0,529), foi observado nessa UMH a maior quantidade de MO ($1,90 \text{ g Kg}^{-1}$) da T1, assim como na T3, a $UMH_{(L)}$ com a maior IEA (0,589) e a maior quantidade de MO ($3,11 \text{ g Kg}^{-1}$), resultado do efeito cimentante da MO, em unir os agregados favorecendo a formação de agregados mais estáveis. Wohlenberg et al. (2004) encontrou correlação positiva entre a formação de agregados estáveis e maiores teores de MO, e explica que isso ocorre pelo fato das moléculas orgânicas atuarem na etapa de estabilização e formação dos agregados, e os microorganismos envolvidos no processo de decomposição serem importantes agentes de agregação.

Quanto à retenção de água (Figura 0.9) as trincheiras (T1, T2 e T3) apresentam reduzida capacidade em reter água em potenciais mátricos baixos. Na T1 pode-se observar que as formas das curvas são semelhantes em todas as UMH , resultados das características texturais semelhantes. Mota et al. (2008) destaca que como a granulometria se correlaciona muito bem com a retenção de água, desde que determinada a partir de terra fina seca ao ar, fica evidente o motivo de as curvas terem praticamente o mesmo comportamento.

No entanto, as $UMH_{(C\Delta\mu \text{ e } NAM)}$ apresentam umidades maiores nos potenciais mátricos e maior área sob a curva (Figura 0.9), assim como a $UMH_{(NAM)}$ da T2. Podem ser explicadas provavelmente pelos valores mais elevados não apenas de argila, mas de silte, devido ao tamanho das partículas de silte serem pequenas e permitirem a formação de microporos responsáveis pela retenção da água no solo.

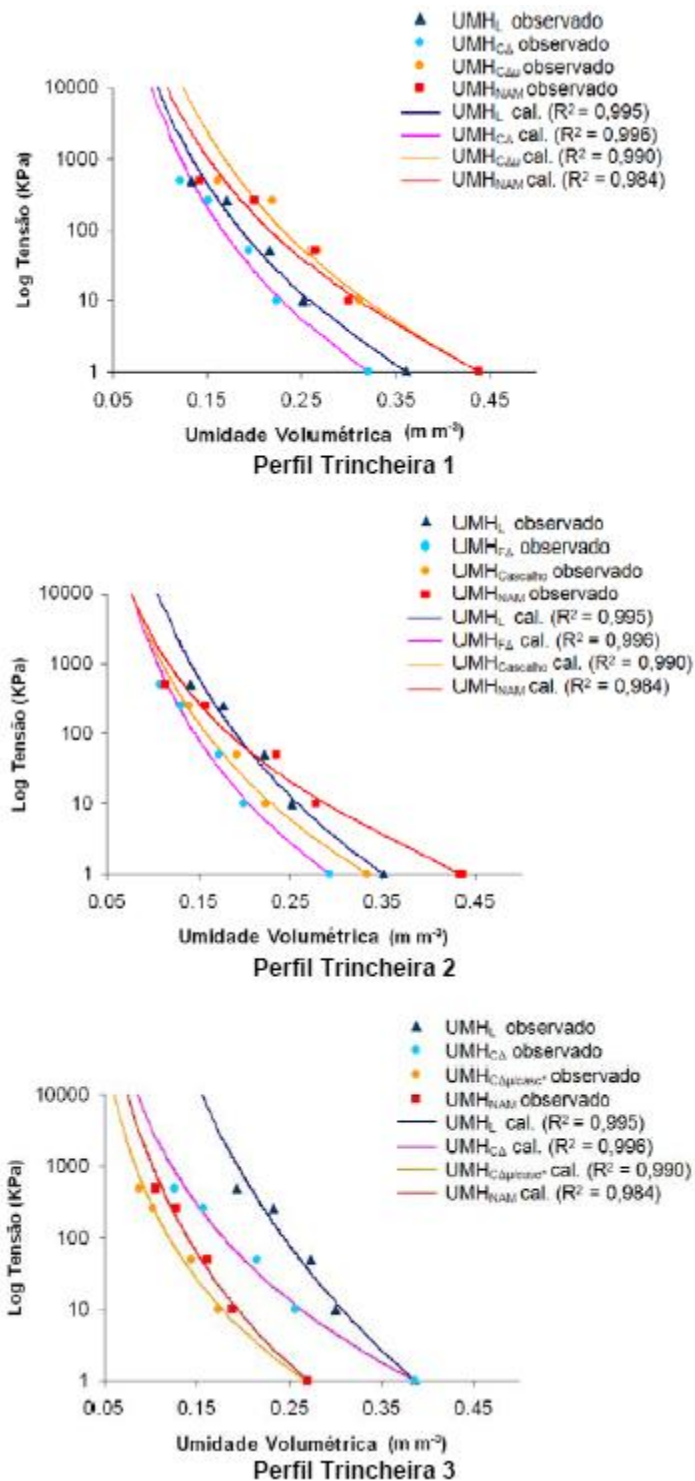


Figura 0.9 – Curva de retenção de água do Cambissolo Háplico Tb distrófico ao longo da topossequência (T1, T2 e T3) e nas unidades morfológicas homogêneas, com valores observados e calculados (equação de Van Genutchen) de umidade volumétrica.

Legenda: L - Unidade morfológicamente homogênea (UMH) livre (L), constituída de agregados e torrões de tamanho variados; CΔ - UMH_(C), formada por torrões compactos (Δ), FΔ - UMH_(F), formada por torrões compactos (Δ). CΔμ - UMH_(C), formada por torrões com sinais de compactação (Δμ). CΔμ/cascalho - UMH_(C), formada por torrões com sinais de compactação (Δμ), e presença de cascalhos. Cascalho – volume de solo constituído por cascalhos e calhaus. F raiz – Volume de solo fissurado (F) com presença de raiz e porosidade visível. b – galeria de cupins. NAM – volume de solo não antropizado.

Na T3 os teores de silte e argila não são suficientes para explicar a diferença de retenção entre as $UMH_{(L)}$ (150,0 e 181,1 g Kg⁻¹) e $UMH_{(C\Delta)}$ (185,0 e 154,9 g Kg⁻¹) das $UMH_{(C\Delta\mu/cascalho)}$ (185,0 e 43,0 g Kg⁻¹) e $UMH_{(NAM)}$ (305,0 e 37,1 g Kg⁻¹), pois as UMH mais superficiais apresentam umidades maiores nos potenciais mátricos e maior área sob a curva, no entanto também apresentam valores maiores de MO (L- 3,11 g Kg⁻¹ e C Δ - 2,71 g Kg⁻¹), essa por sua vez promove a aglutinação de partículas, firmando a estrutura e diminuindo o diâmetro dos poros. Douaoui et al. (2004) destacaram que a matéria orgânica influencia positivamente a formação de agregados estáveis e aumentam a retenção de água. De maneira geral as trincheiras sofreram influência do silte na retenção de água e da MO, que mesmo com pequenos acréscimos, aumentou a retenção de água no solo. Mello et al. (2002), comprovaram, por meio de análises matemáticas, que a matéria orgânica tem influência no potencial matricial do solo.

3.4.3 Análise de Componentes Principais (ACP)

Através da análise de componentes principais (Figura 0.10) foi possível analisar a variação dos atributos físicos em cada trincheira e nas UMH definidas no perfil cultural (Figura 3.7) e com isso estabelecer grupos com semelhanças. O primeiro componente principal, combinação linear das 12 variáveis avaliadas, explicou 34,38% da variância dentro das análises e o segundo explicou 25,13%, o terceiro componente explicou 14,36% da variância e juntos, explicaram 73,88% da variância total.

As UMH são representadas por pontos no espaço formado pelos eixos fatoriais. A proximidade entre dois pontos significa a semelhança dos valores dos atributos físicos dessas UMH . As variáveis (atributos físicos) são representadas por vetores que podem ser representados no espaço de representação dos indivíduos (Figura 0.10).

A qualidade de representação de uma variável é dada pela proximidade do extremo desta ao círculo de raio 1. A correlação entre duas variáveis é representada pelo ângulo que os vetores correspondentes formam.

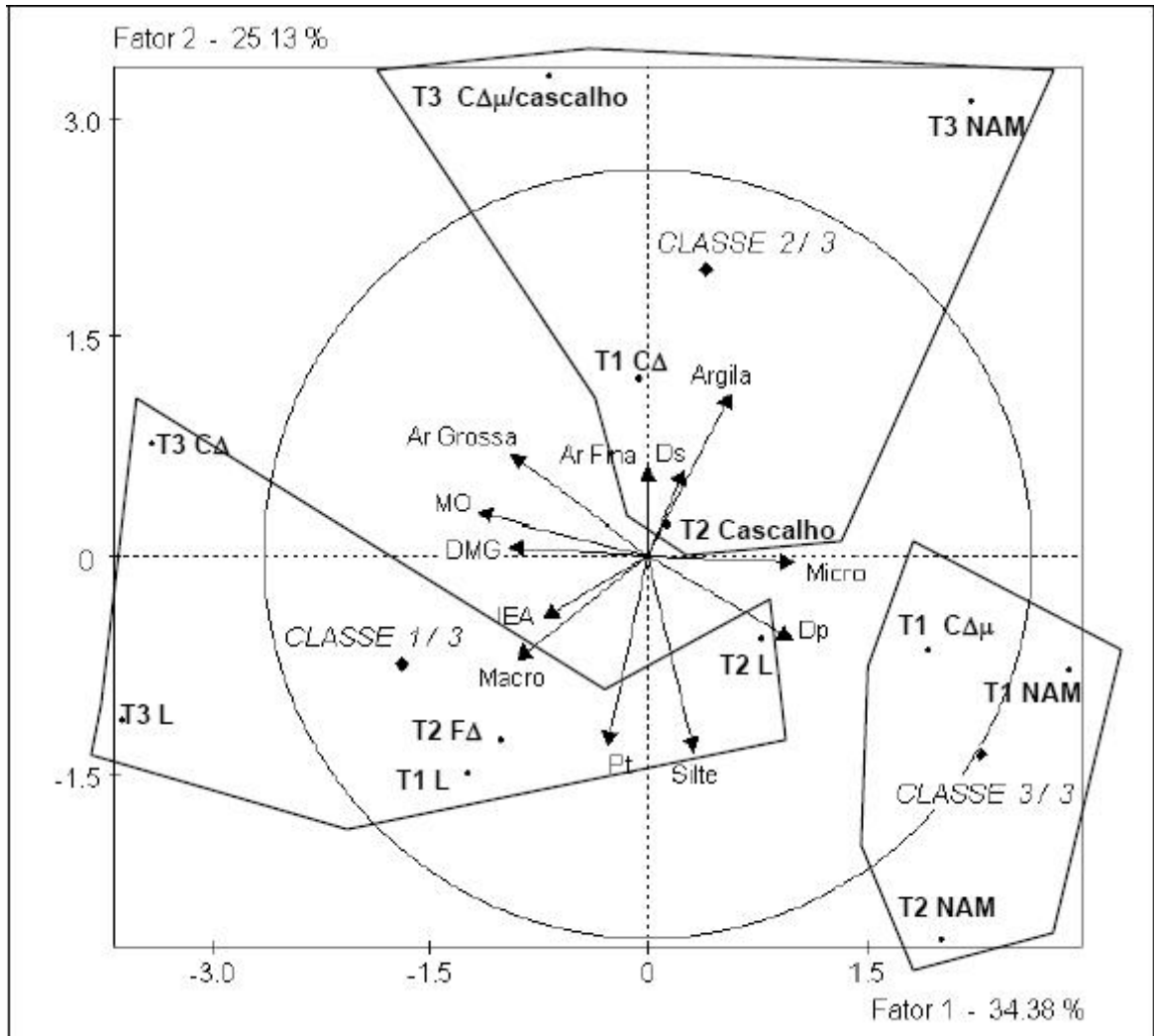


Figura 0.10 – Análise de componentes principais relacionadas às análises físicas e as unidades morfológicas homogêneas através de atributos dependentes do Cambissolo Háplico Tb distrófico por meio de classes de agrupamento.

Legenda: L- Unidade morfológica homogênea (UMH) livre (L), constituída de agregados e torrões de tamanho variados; CA - UMH_(C), formada por torrões compactos (Δ), F Δ - UMH_(F), formada por torrões compactos (Δ). C $\Delta\mu$ - UMH_(C), formada por torrões com sinais de compactação ($\Delta\mu$). C $\Delta\mu$ /cascalho - UMH_(C), formada por torrões com sinais de compactação ($\Delta\mu$), e presença de cascalhos. Cascalho – volume de solo constituído por cascalhos e calhaus. F raiz – Volume de solo fissurado (F) com presença de raiz e porosidade visível. b – galeria de cupins. NAM – volume de solo não antropizado.

A argila apresentou correlação negativa com a porosidade total (Pt), macroporosidade e silte abaixo de -0,50, enquanto que o silte apresentou correlação positiva com a Pt (0,55) e negativa com a areia fina (-0,59). Para a areia grossa foi encontrado correlação positiva com a matéria orgânica (MO) de 0,75 e negativa com a densidade da partícula (Dp), microporosidade e macroporosidade acima de -0,54. A macroporosidade e a microporosidade apresentaram correlação negativa de -0,83.

O diâmetro médio geométrico correlacionou positivamente com a MO e com o índice de estabilidade de agregados (IEA) acima de 0,64, porém negativamente com a Dp (-0,65).

Dessa maneira foi possível agrupar as trincheiras e as unidades morfológicas homogêneas em 3 (três) classes com características semelhantes (Figura 0.10). A primeira classe é resultado dos elevados valores de macroporosidade e baixos de microporosidade e corresponde as $UMH_{(L)}$ das 3 trincheiras além das $UMH_{(\Delta)}$ da T2 e T3. A segunda classe é responsável por valores baixos de Pt, e contempla as $UMH_{(C\Delta)}$ da T1, $UMH_{(C\Delta\mu/cascalho \text{ e } NAM)}$ da T3, além da $UMH_{(Cascalhos)}$ da T2. Na terceira classe foram agrupados as UMH com pouca quantidade de MO e elevados valores de microporosidade, correspondentes as $UMH_{(NAM)}$ da T1 e T2 e a $UMH_{(C\Delta\mu)}$ da T1.

Os resultados da ACP confirmaram as observações anteriores, onde na primeira classe encontramos as $UMH_{(L)}$ das 3 trincheiras, responsáveis pela infiltração superficial elevada devido à presença da maior quantidade de macroporos. No entanto, a $UMH_{(\Delta)}$ da T3 também é agrupada nessa classe, resultando que a infiltração é reduzida com a profundidade, principalmente pelo fato de suas UMH mais profundas estarem associado à classe 2, com pouca Pt.

A $UMH_{(\Delta)}$ da T1 foi relacionado à classe 2, com pouca porosidade, corroborando com a observação feita em campo, por ser a camada mais compacta da T1 sendo a redução na infiltração resultado da diminuição da Pt da $UMH_{(L)}$ para a $UMH_{(\Delta)}$.

A $UMH_{(cascalho)}$ da T2 foi agrupada na classe dois, porém não foi possível determinar a porosidade dessa camada, motivo pelo qual foi agrupado na classe com pouca porosidade total. Nessa trincheira as UMH superficiais foram agrupadas na classe 1 com maior macroporosidade e a UMH mais profunda (NAM) foi agrupada na classe 3, responsável pelo aumento da microporosidade, e devido a relação negativa alta entre microporosidade e macroporosidade (-0,83) ocorre redução da infiltração de água em profundidade, assim como na T3 e na T1.

Dessa maneira foi possível compreender que há uma redução da infiltração em profundidade ao longo da encosta, isso ocorre devido à presença de UMH compactas, originadas pelo sistema de preparo do solo. No entanto essa redução ocorre de maneira diferente ao longo da vertente, resultando em

variabilidade e suscetibilidade a erosão diferente entre o topo, o meio e a base da encosta.

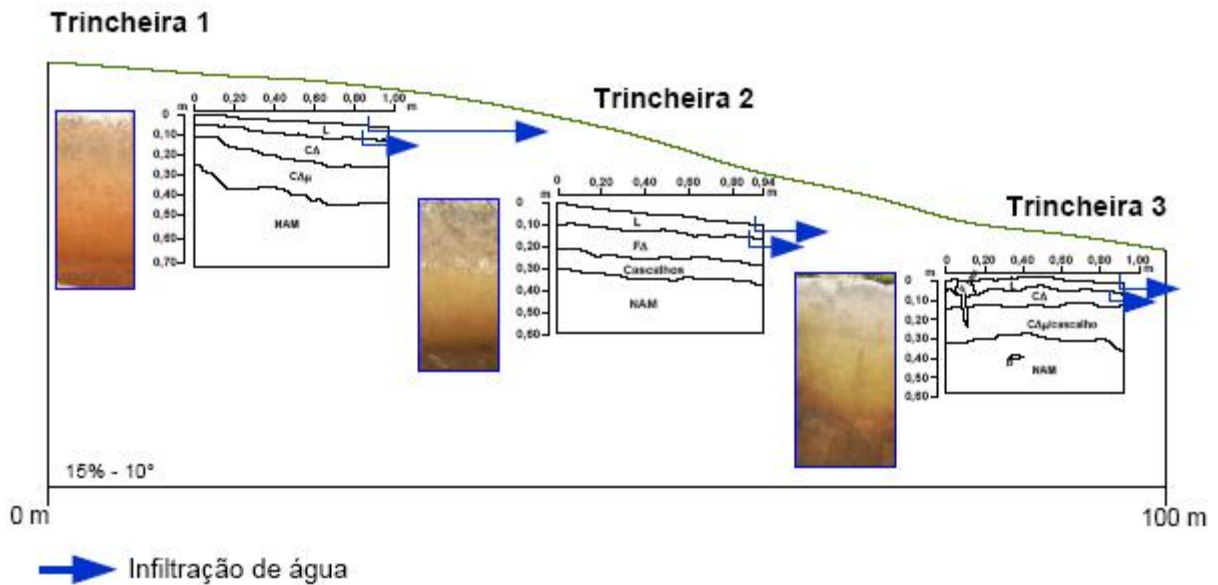


Figura 3.11 – Perfil cultural das 3 trincheiras ao longo da topossequência e infiltração de água nas unidades morfológicas homogêneas L e Δ do Cambissolo Háplico Tb distrófico. (Foto: Luiz Rafael Ferrari Pesce)

Legenda: L- Unidade morfolologicamente homogênea (UMH) livre (L), constituída de agregados e torrões de tamanho variados; C Δ - UMH_(C), formada por torrões compactos (Δ), F Δ - UMH_(F), formada por torrões compactos (Δ). C $\Delta\mu$ - UMH_(C), formada por torrões com sinais de compactação ($\Delta\mu$). C $\Delta\mu$ /cascalho - UMH_(C), formada por torrões com sinais de compactação ($\Delta\mu$), e presença de cascalhos. Cascalho – volume de solo constituído por cascalhos e calhaus. F raiz – Volume de solo fissurado (F) com presença de raiz e porosidade visível. b – galeria de cupins. NAM – volume de solo não antropizado.

No topo (Figura 3.11 e Anexo 1) a redução na capacidade de infiltração da UMH_(L) para a UMH_(Δ) foi maior que nas outras trincheiras, pois apresentava a camada mais compacta, e com grande redução de macroporos. Nessa posição da encosta e com o regime de chuvas concentrado nos meses de dezembro a março, com precipitações altas e intensas, associado à pequena espessura da UMH_(L) com capacidade de infiltração elevada e sofrendo uma redução brusca na UMH compacta, resulta no encharcamento rápido da camada superficial e com isso aumento do escoamento superficial e predisposição ao processo de remoção do solo por erosão, somado a pequena estabilidade de agregados e DMG da UMH_(L), permitem concluir que o topo é mais suscetível a erosão que o meio e a base da encosta.

No meio da encosta (Figura 3.11 e Anexo 1) a redução da infiltração na UMH compacta ocorreu devido a redução da P_t e aumento da D_s resultado da compactação, assim como no topo também apresenta pouca estabilidade de agregados, porém a UMH_L tem uma espessura maior que na mesma UMH no topo, o que permite no início das chuvas armazenar um volume maior de água antes do início do escoamento, sendo que essa espessura é resultado da redução do processo erosivo pela presença de raízes em aumentar a resistência dos agregados serem removidos pela água, no entanto apresenta um agravante nesse perfil, que é a presença de uma UMH de cascalhos e calhaus, os quais não permitiram agregação das partículas do solo, aumentando a suscetibilidade a erosão.

Na base da encosta (Figura 3.11 e Anexo 1) a redução da infiltração também ocorreu devido a presença de uma UMH compacta, reduzindo a P_t e macroporosidade, no entanto apresenta na $UMH_{(L)}$ (superfície) estabilidade de agregados superior a das camadas mais profundas, contribuindo favoravelmente para reduzir a suscetibilidade da base da encosta ao processo erosivo. Isso ocorreu pelo incremento de MO na $UMH_{(L)}$, e na $UMH_{(\Delta)}$ pela associação da compactação, que comprime os agregados do solo, e MO, contribuindo na cimentação dos agregados. Nesse caso, mesmo apresentando valores de MO abaixo dos ideais encontrado na literatura (ALMEIDA et al., 2005), foi possível perceber que em sistemas com baixa fertilidade natural e pouca estruturação física, incrementos na ordem de 1 g Kg^{-1} resultam em efeitos positivos na estruturação do solo e na retenção de água, com conseqüências positivas para a redução da suscetibilidade a erosão. Além disso, na base da encosta tem ocorrido a deposição de partículas proveniente da erosão das áreas acima, pois apresenta valores de areia grossa elevados ($408,0 \text{ g Kg}^{-1} \text{ UMH}_{(L)}$).

3.5 CONCLUSÕES

A infiltração de água é reduzida na presença de unidades morfológicas homogêneas compactas no perfil do solo, resultado do aumento da densidade do solo e da redução da porosidade total e macroporosidade do solo.

A estabilidade dos agregados é reduzida pelo preparo do solo, contudo a matéria orgânica contribui para aumentar a estabilidade dos agregados.

A retenção de água foi afetada positivamente com a presença de silte.

O topo da encosta se mostrou mais suscetível ao processo de erosão. No entanto, a presença da unidade morfológica homogênea constituída de cascalhos no meio da encosta não permitiu a formação de agregados. A base da encosta é menos suscetível a remoção e desagregação pela chuva por apresentar maior DMG e IEA, pela menor redução da infiltração permitindo que ocorra redistribuição da água no perfil.

REFERÊNCIAS

- AINA, P.O. Soil charges resulting from long-term management practices in western Nigéria. **Soil Science Society American Journal**. Madison, v.43, p.173- 177, 1979.
- ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; MAFRA, A.L.; FONTANA, E.C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 27, p.799-806, 2003
- ALLEONI, L.R.F.; CAMARGO, O.A. Óxidos de ferro e de alumínio e a mineralogia da fração argila deferrificada de latossolos ácidos. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, v. 53, n. 3, p. 416-421, 1995.
- ALMEIDA , J.A.; BERTOL, I.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob prepare convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 29, p. 437-445, 2005.
- ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; SOUZA, L.C.F.; GONÇALVES, M.C.; CARVALHO, D.F. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 191-196, 2003.
- AMORIM, R.S.S.; SILVA, D.; PRUSKI, F.F.; MATOS, A.T. Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.1, p.124-130, 2001.
- ARAUJO, A.G.; **Estimativa e classificação da compactação do solo pelo tráfego de máquinas agrícolas através da modelagem nebulosa**. 2005, 224 p. Tese (Doutor em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, SP.
- BACCARO, C.A.D. Processos Erosivos no Domínio do Cerrado. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (org.) **Erosão e Conservação dos solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, 195-223p.
- BAJRACHARYA, R. M.; LAL, R.; KIMBLE, J.M. Erosion effects on carbon dioxide concentration and carbon flux from an Ohio alfisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, p.694-700, 2000.

BALBINO, L.C.; BROSSARD, M.; LEPRUN, J-C.; BRUAND, A. Mise en valeur des Ferralsols de la région du Cerrado (Brésil) et évolution de leurs propriétés physiques: une étude bibliographique. **Étude et Gestion des Sols**, v. 9, n. 2, p. 83-104, 2002.

BAVER, L.L.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. **Física de Suelos**. México; Hispano Americano, 1972. 529p.

BERTOL, I. Erosão hídrica em Cambissolo húmico distrófico sob diferentes preparos do solo e rotação de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 267-271, 1994.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J.M.; REIS, E.F.; DILY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.1, p.91-95, 2000.

BERTOL, I.; AMARAL, A.J.; VÁSQUEZ, E.V.; GONZÁLEZ, A.P.; BARBOSA, F.T.; BRIGNONI, L.F. Relação da rugosidade superficial do solo com o volume de chuva e com a estabilidade de agregados em água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 30, p. 543-553, 2006.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 4. ed. São Paulo, Ícone, 1999. 355p.

BIGARELLA, J.J.; MAZUCHOWSKI, J.Z. **Visão Integrada da Problemática da Erosão**. Curitiba; ABGE; 1985. 332p.

BODHINAYAKE, W.; CHENG SI, B.; NOBORIO, K. Determination of Hydraulic Properties in Sloping Landscapes from Tension and Double-Ring Infiltrimeters. **Vadose Zone Journal**, Madison, n. 3, p.964–970, 2004.

BRUAND, A.; FERNÁNDEZ, P.P.; DUVAL, O.; QUÉNTIN, P.; NICOULLAUD, B.; GAILLARD, H.; RAISON, L.; PESSAUD, F.F.; PRUD'HOMME, L. Estimation des propriétés de rétention en eau des sols : Utilisation de classes de pédotransfert après stratifications texturale et texturo-structurale. **Étude et Gestion des Sols**. v.9, n.2, p.105-125, 2002

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do IAC. Campinas: IAC, 1986, 90p.

CAMEIRA, M.R.; FERNANDO, R.M.; PEREIRA, L.S. Soil macropore dynamics affected by tillage and irrigation for a silty loam alluvial soil in southern Portugal. **Soil & Tillage Research**. v. 70, n. 2, p. 131–140, 2003.

CANTALICE, J.R.B.; CASSOL, E.A.; REICHERT, J.M.; BORGES, A.L.O. Hidráulica do escoamento e transporte de sedimentos em sulcos em solo franco-argilo-arenoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29, p. 597-607, 2005.

CASTRO, L.G.; COGO, N.P.; VOLK, L.B.S. Alteração na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.30, p.339-352, 2006.

CASTRO FILHO, C. Atributos do Solo Avaliados pelos seus Agregados. In: MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. (org) **Qualidade Física do Solo: metodologias de estudo**, Jaboticabal: FUNEP, 2002. 21-16p.

CHAPLOT, V.A.M.; BISSONNAIS, Y.L. Runoff features for interrill erosion at different rainfall intensities, slope lengths, and gradients in an agricultural loessial hillslope. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.67, p. 844–851, 2003.

CISIA - CERESTA. **Programa**: SPAD for Windows (software). Versão 3.5, 1998. (CD-ROM).

COELHO, R.D.; MIRANDA, J.H.; DUARTE, S.N. Infiltração da água no solo: Parte II Acúmulo de água sobre a superfície do terreno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.2, p.141-145, 2000.

COGO, N.P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R.A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 7743-7753, 2003.

COQUET, Y.; ROGER-ESTRADE, J.; BOUCHER, A.; LABAT, C.; VACHIER, P. Intérêt d'une compartimentation morphologique du profil cultural pour l'étude de l'infiltration de l'eau dans les couches de sol travaillées. **Étude et Gestion des Sols**, v. 8, n. 1, p. 19-31, 2001.

COSTA, A.; ALBUQUERQUE, J.A.; ERNANI, P.R.; BAYER, C.; MERTZ, L.M. Alterações físicas e químicas num Cambissolo Húmico de campo nativo após a correção da acidez. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.5, n.2, p.118-130, 2006.

COUTADEUR, C.; COUSIN, L.; NICOUILLAUDL, B. Influence de la phase caillouteuse sur la réserve en eau des sols. **Étude et Gestion des Sols**. v. 7, n. 3, p. 191-205, 2000.

CURMI, P. Relação entre o espaço poral do solo e seu funcionamento hídrico. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; FURLANI, P.; FREITAS, S.S. (Coord.). **Responsabilidade social da ciência do solo**. Campinas: SBCS, 1988. p. 447-454.

DELECTIC, A. Sediment behaviour in grass filter strips. **Water Science and Technology**. v. 39, n. 9, p. 129-136, 1999.

DOUAOUI, A.; GASCUEL-ODOUX, C.; WALTER, C. Infiltrabilité et érodibilité de sols salinisés de la plaine du Bas Chéiff (Algérie). **Étude et Gestion des Sols**, v. 11, n.4, p. 379-392, 2004.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. . Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). *Sc. Agricola*, v. 57, n. 1, p. 191-192, 2000.

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

DUIKER, S.W.; RHOTON, F.E.; TORRENT, J.; SMECK, N.E.; LAL, R. iron (hydr)oxide crystallinity effects on soil aggregation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.67, p.606-611, 2003.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2ª ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de solos, 1997.

EMBRAPA. Recuperação de áreas degradadas através da introdução de gramíneas forrageiras e leguminosas arbóreas no Estado do Rio de Janeiro. **Boletim de Pesquisa n. 18**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000, 56p.
Disponível:<<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/pdfs/bp182000leguminosas.pdf>>
Acesso em: 16 set. 2008, 02:47:00.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Solos 2006.

EMBRAPA. Qualidade física do solo: indicadores quantitativos. **Documentos 196**, Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007, 25p.

FAVARETTO, N.; COGO, N.P.; BERTOL, O.J. Degradação do Solo por Erosão e Compactação. In: LIMA, M.R.; SIRTOLI, A.E. (org.) **Diagnóstico e Recomendações de Manejo do Solo: aspectos teóricos e metodológicos**. Curitiba: UFPR/Setor de Ciências Agrárias, 2006, p.256-291.

FERREIRA, R.R.M. **Atributos Físicos e Socioeconômicos de Cambissolo sob Sistema de Pastagem Extensiva**. 2005. 130p. Dissertação. (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, PR.

FONTES; M.P.F.; CAMARO, O.A.; SPOSITO, G. Eletroquímica das Partículas Cooidais e sua Relação com a Mineralogia de Solos Altamente Intemperizados. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 627-643, 2001.

GUERRA, A.J.T. Início do Processo Erosivo. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (org.) **Erosão e Conservação dos solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, p.17-50.

GUIMARÃES, M.F.; JORGE, L.A.C.; MARIA, I. C.; TAVARES FILHO, J.; BICUDO, S.; CRESTANA, S. Três metodologias de avaliação de raízes: descrição, limitações e vantagens. In: I Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária, 1997, São Carlos - SP. Anais. São Carlos - SP, 1997. p. 295-304.

HEIL, J.W.; JOU, A.S.R.; McINNES, K.J. Soil properties influencing surface sealing of some sandy soils in the Sahel. **Soil Science**, v. 162, p.459-469, 1997.

HILLEL, D. **Solo e Água: fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre: Meridional, 1970.

HENIN, S.; GRAS, R.; MONNIER, G. **Le profil cultural: l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques**. 2ed. Paris, Masson, 1960, 322p.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília, 1990. 96p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário**, Minas Gerais, 2000.

IPT. Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Peixe-Parapanema. **Relatório 24**. São Paulo: IPT, v. 6. 1986, 739p.

JUHASZ, C.E.P; CURSI, P.R.; COOPER, M.; OLIVEIRA, T.C.; RODRIGUES, R.R. Dinâmica físico-hídrica de uma Toposseqüência de solos sob Savana florestada (Cerradão) em Assis, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 30, P. 401-412, 2006.

KING, K.; BRUAND, A.; COUSIN, I.; HOLLIS, J. Rôle des propriétés physiques des sols et de leur variabilité spatiale sur les flux d'eau. **Étude et Gestion des Sols**, v.10, n. 4, p. 287-297, 2003.

LAHLOU, S.; OUADIA, M.; MALAM ISSA, O.; LE BISSONNAIS, Y.; MRABET, R. Modification de la porosité du sol sous les techniques culturales de conservation en zone semi-aride Marocaine. **Étude et Gestion des Sols**, v.12, n. 1, p. 69-76, 2005.

LAL, R. Soil erosion by wind and water: Problems and prospects. In: LAL, R. (org.) **Soil erosion research methods**. 2 ed. Iowa: Soil and Water Conservation Society, 1994. Cap.1.

LAL, R.; ELLIOT, W. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. (org.) **Soil erosion research methods**. 2 ed. Iowa: Soil and Water Conservation Society, 1994. Cap.8.

LAURENT, F. & ROSSIGNOL, J.P. Cartographie des propriétés hydriques des sols à partir de la lithologie et des pentes. **Étude et Gestion des Sols**, v.10, n. 3, p. 155-175, 2003.

LEGUÉDOIS, S.; PLANCHON, O.; LEGOUT, C.; LE BISSONNAIS, Y. Splash projection distance for aggregated soils: theory and experiment. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 69, p.30-37, 2005.

LEMOS, M.S.S.; BAHIA, V.G. Erosividade da chuva. **Informe Agropecuário**, v.16, n.176, p.25-31, 1992.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da Água no Solo**, Piracicaba : [o autor] , 1995.

LIMA, J.A.G.; MENDES, A.M.S.; DUDA, G.P.; FERREIRA, C.V. Variabilidade especial de características físico-hídricas de um Cambissolo cultivado com mamão no semi-árido do RN. **Caatinga**, Mossoró, v.19, n.2, p.192-199, 2006.

LIPIEC, J.; KUS, J.; SŁOWIN´SKA-JURKIEWICZ, A.; NOSALEWICZ, A. Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. **Soil & Tillage Research**. v. 89, n. 2, p. 210–220, 2006.

LONGO, R.M.; ESPÍNDOLA, C.R.; RIBEIRO, A.I. Modificações na estabilidade de agregados no solo decorrentes da introdução de pastagens em áreas de cerrado e floresta amazônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.3, p.276-280, 1999.

MACHADO, M.A.M.; FAVARETTO, N. Atributos Físicos Relacionados ao Manejo e Conservação dos Solos. In: LIMA, M.R.; SIRTOLI, A.E. (org.) **Diagnóstico e Recomendações de Manejo do Solo: aspectos teóricos e metodológicos**. Curitiba: UFPR/Setor de Ciências Agrárias, 2006, 234-254p.

MAMEDOV, A.I.;HUANG, C.; LEVY, G.J. Antecedent moisture content and aging duration effects on seal formation and erosion in Smectitic soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.70, p. 832–843, 2006.

MATHIEU, C. & PIELTAIN, F. **Analyse physique des sols**. Méthodes choisies. Lavoisier Tec & Doc., Paris, 1998, 275p.

MELLO, C.A.; OLIVEIRA, G.C.; FERREIRA, D.F.; LIMA, J.M. Predição da porosidade drenável e disponibilidade de água para Cambissolos da Microregião Campos das Vertentes, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1319-1324, set. 2002.

MELLO, C.R.; OLIVEIRA, G.C.; FERREIRA, D.F.; LIMA, J.M.; LOPES, D. Modelos para determinação dos parâmetros da equação de van Genuchten para um Cambissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 23-29, 2005.

MORAIS, L.F.B.; MUTTI, L.S.M.; ELTZ, F.L.F. Índices de erosividade correlacionados com perdas de solo no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.12, n.3, p.281-284, 1988.

MORAIS, F.; BACELLARI, L. A. P.; SOBREIRA, F.G. Análise da erodibilidade de saprolitos de gnaiss. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n. 6, p. 1055-1062, 2004.

MOTA, J.C.A; ASSIS JUNIOR, R.N.; AMARO FILHO, J.; LIBARDI, P.L. Algumas propriedades físicas e hídricas de três solos na Chapada do Apodi, RN, cultivados com melão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, p. 49-58, 2008.

MULLER, M.M.L; GUIMARÃES, M.F.; DESJARDINS, T.; MARTINS, P.F.S. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 36, n. 11, p.1409-1418, 2001

MULUMBA, L.N.; LAL, R. Mulching effects on selected soil physical properties. **Soil & Tillage Research**. v. 98, n. 1, p. 106–111, 2008.

NDIAYE, B., MOLÉNAT, J., HALLAIRE, V.; GASCUEL, C., HAMON, Y. Effects of agricultural practices on hydraulic properties and water movement in soils in Brittany (France). **Soil & Tillage Research**. v. 93, n. 2, p. 251–263, 2007.

NEVES, C.S.V.J. ; FELLER, C.; GUIMARÃES, M.F.; MEDINA, C.C.; TAVARES FILHO, J.; FORTIER, M.. Soil bulk density and porosity of homogeneous morphological units identified by the cropping profile method in clayey Oxisols in Brazil.. **Soil & Tillage Research**. Amsterdam, v. 71, n. 1776, p. 109-119, 2003.

OLIVEIRA, A.M.S. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas.In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (org.) **Erosão e Conservação dos solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, p.57-99.

PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F.; URCHEI, M.A. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 261-268, 2006.

PEREIRA, S.B.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D.; MATOS, A.T. Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 423-429, 2003.

PORTUGAL, A.F.; COSTA, O.D.V.; COSTA, L.M.; SANTOS, B.C.M.; Atributos químicos e físicos de um Cambissolo Háplico Tb distrófico sob diferentes usos na Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.32, p.249-258, 2008.

PREVEDELLO, C.L. **Física do Solo**: com problemas resolvido, Curitiba : C.L. Prevedello, 1996.

RESENDE, M.; REZENDE, S.B.; CARMO, D.N. **Roteiro pedológico I**, Viçosa: UFV, 1990.

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.

RHOTON, F.E.; ROMKENS, M.J.M., BIGHAM, J.M.; M. ZOBECK, T.; UPCHURCH, D.R. Ferrihydrite influence on infiltration, runoff, and soil loss. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.67, p. 1220–1226, 2003.

RUELLAN, A., DOSSO, M. **Solidac**. Educagri éditions, Dijon e AUF, Paris, 2003.

SALOMÃO, F.X.T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (org.) **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p.229-267.

SILVA, A.S. Análise Morfológica dos Solos e Erosão. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (org.) **Erosão e Conservação dos solos**: Conceitos, Temas e Aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, 101-124p.

SILVA, M.A.S.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p.544-552, 2005a.

SILVA, A.M.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; LIMA, J.M.; AVANZI, J.C.; FERREIRA, M.M. Perdas de solo, água, nutriente e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1223-1230, dez. 2005b.

TAVARES FILHO J., TESSIER D. Influence des pratiques culturales sur le comportement et les propriétés de sols du Paraná (Brésil). **Étude et Gestion des Sols**, v.5, n. 1, p. 61-67, 1997.

TAVARES FILHO, J.; EIRA, G.C.; LUDWIG FARINHA, L.R. Avaliação da compactação em um solo cultivado no sistema convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 19, p. 219-225, 1999a.

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**, Campinas, v.23, p. 393-399, 1999b.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (zea mays) sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.25, p. 725-730, 2001.

TAVARES FILHO, J.; GRIMALDI, M.; TESSIER, D. Compressibilidade de agregados de um latossolo amarelo da amazônia em resposta ao potencial da água do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.29, p. 489-495, 2005.

TAVARES FILHO, J. ; MAGALHÃES, F. S. . Dispersão de amostras de Latossolo Vermelho eutroférico influenciadas por pré-tratamento para oxidação da matéria orgânica e pelo tipo de agitação mecânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 32, p. 1429-1435, 2008.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. The effect of crops on aggregation in a red- Brown earth. **Australian Journal of Soil Research**. Victoria. v.18. p. 423-433, 1980.

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

VARGAS, M. **Mecânica dos Solos**, São Paulo : Escola Politécnica da USP , 1968.

VITORINO, A.C.T.; FERREIRA, M.M.; CURI, N.; LIMA, J.M.; SILVA, M.L.N.; MOTTA, P.E.F. Mineralogia, química e estabilidade de agregados do tamanho de silte de solos da região Sudeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.1, p.133-141, 2003.

WAKINDIKI, I.I.C.; BEN-HUR, M. Soil mineralogy and texture effects on crust micromorphology, infiltration, and erosion. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.66, p. 897–905, 2002.

WESSOLEK, G.; SCHWARZEL, K.; GREIFFENHAGEN, A.; STOFFREGEN, H. Percolation characteristics of a water-repellent sandy forest soil. **European Journal of Soil Science**, v. 59, n. 1, p. 14-23, 2008.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA, 1978. 58p. (Agricultural Handbook, 537).

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

ANEXO

ANEXO 1

ANEXO 1

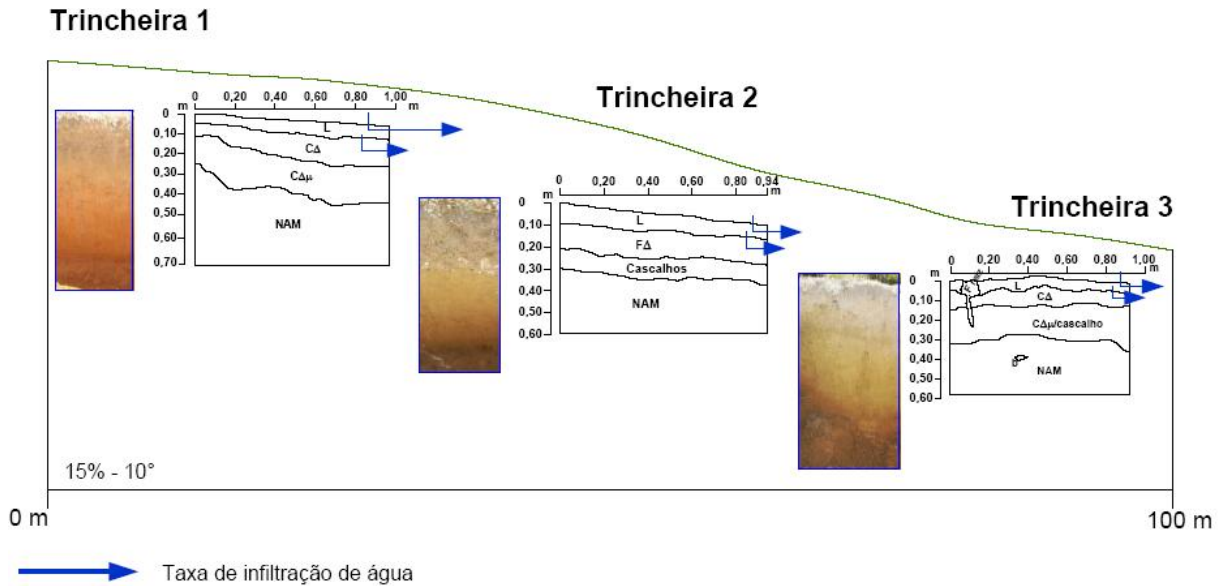


Figura A.1 – Perfil Cultural das 3 trincheiras ao longo da topossequência e taxa de infiltração de água nas unidades morfológicas homogêneas do Cambissolo Háplico Tb distrófico

Legenda: L- Unidade morfológicamente homogênea (UMH) livre (L), constituída de agregados e torrões de tamanho variados; C Δ - UMH_(C), formada por torrões compactos (Δ), F Δ - UMH_(F), formada por torrões compactos (Δ). C $\Delta\mu$ - UMH_(C), formada por torrões com sinais de compactação ($\Delta\mu$). C $\Delta\mu$ /cascalho - UMH_(C), formada por torrões com sinais de compactação ($\Delta\mu$), e presença de cascalhos. Cascalho – volume de solo constituído por cascalhos e calhaus. F raiz – Volume de solo fissurado (F) com presença de raiz e porosidade visível. b – galeria de cupins. NAM – volume de solo não antropizado.