

**QUALIDADE ESTRUTURAL E INTERVALO  
HÍDRICO ÓTIMO DE SOLOS CULTIVADOS  
EM ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO  
SUL DE MINAS GERAIS**

**VICO MENDES PEREIRA LIMA**

**2008**

**VICO MENDES PEREIRA LIMA**

**QUALIDADE ESTRUTURAL E INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO  
DE SOLOS CULTIVADOS EM ÁREA DE PROTEÇÃO  
AMBIENTAL DO SUL DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Geraldo César de Oliveira

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2008

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Lima, Vico Mendes Pereira.

Qualidade estrutural e intervalo hídrico ótimo de solos cultivados em  
área de proteção ambiental do sul de Minas Gerais / Vico Mendes Pereira  
Lima. – Lavras : UFLA, 2008.

74 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2008.

Orientador: Geraldo César de Oliveira.

Bibliografia.

1.Compressibilidade. 2. Conservação ambiental. 3. Microbacia  
hidrográfica. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.433

**VICO MENDES PEREIRA LIMA**

**QUALIDADE ESTRUTURAL E INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO  
DE SOLOS CULTIVADOS EM ÁREA DE PROTEÇÃO  
AMBIENTAL DO SUL DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para a obtenção do título de “Mestre”.

**APROVADA em 1º de agosto de 2008**

Prof. Dr. José Maria de Lima UFLA

Prof. Dr. Luiz Fernando Coutinho Oliveira UFG

Prof. Dr. Geraldo César de Oliveira

UFLA

(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL

*A Deus,*

**OFEREÇO**

*Aos meus pais, João e Maria,*

*A minha família,*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade de realizar o mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Professor Geraldo César de Oliveira, pela orientação, amizade e convivência.

Ao Professor José Maria de Lima, pela participação na banca e confiança.

Ao Professor Luiz Fernando Coutinho de Oliveira, pela participação na banca, críticas e sugestões.

Ao Professor Vicente Gualberto, pelo apoio.

À comunidade de agricultores da APA Coqueiral, pela convivência.

Ao pós-graduando Ciro e graduandos Arthur e Leandro, pelo companheirismo.

À turma da república, José, André, Regis e Davi, pela amizade.

Aos estudantes de pós-graduação, Vitória, Waldete, Anna Hoffmann, Ana Luiza, Silvio, Eduardo, Bruno Pires, César, Paula, Euzi, Enio, Évio, Josinaldo, Zilton, Luiz Gustavo, Bruno, Leandro, Plínio, Paulo, Cléber, Elen, Thiago, Bruno Lima, Fabrício, Gabriela, Mayesse, Fábio, Amanda, Ayeska, Fábio Satoshi, Guilherme, Fabrício, Glauci, Bruno Dias, Adriana, Marcos, Regineire, Sheila, Geila, Bruninho, Maurício, Jerussa, Michele, Rodrigo, Karine, Karina, Milson e todos do Departamento.

Aos professores da UFLA: Mozart, João José, Nilton Curi, Carlos Rogério, Marx, Carlos Alberto e Furtini, pela participação na minha formação.

A todos os funcionários do Departamento de Ciência do Solo, em especial, Carlinhos, Dulce e Delanne, que contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO GERAL</b> .....	i
<b>GENERAL ABSTRACT</b> .....	iii
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	1
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Áreas de proteção ambiental.....	3
2.2 Microbacias hidrográficas como unidades de estudos.....	5
2.3 Alterações estruturais em solos cultivados.....	6
2.4 Compactação e comportamento compressivo do solo.....	7
2.5 Intervalo hídrico ótimo.....	10
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	13
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	18
<b>QUALIDADE ESTRUTURAL DE SOLOS CULTIVADOS COM CAFÉ E PASTAGEM EM ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO SUL DE MINAS GERAIS</b> .....	18
RESUMO.....	18
ABSTRACT.....	19
1 INTRODUÇÃO.....	20
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4 CONCLUSÕES.....	36
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	41
<b>INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO DE SOLOS CULTIVADOS COM CAFÉ E PASTAGEM EM ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO SUL DE MINAS GERAIS</b> .....	41
RESUMO.....	41
ABSTRACT.....	42
1 INTRODUÇÃO.....	43
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	44
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4 CONCLUSÕES.....	58
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
<b>ANEXOS</b> .....	63

## RESUMO GERAL

LIMA, Vico Mendes Pereira. **Qualidade estrutural e intervalo hídrico ótimo de solos cultivados em área de proteção ambiental do sul de Minas Gerais.** 2008. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG<sup>1</sup>.

Áreas de proteção ambiental (APAs) estão ganhando notoriedade por aliar a conservação dos recursos naturais à produção sustentável de alimentos, tornando-se, assim, um importante agente na luta pela preservação ambiental. Pela adequação das atividades humanas às características do meio, com base nos estudos de potencialidades e de limitações da área, nessas unidades de conservação, têm-se alcançado importantes resultados relacionados à manutenção da diversidade de ambientes, de espécies e de processos naturais. Objetivou-se, com a realização deste estudo, avaliar a qualidade estrutural e o intervalo hídrico ótimo (IHO) de solos cultivados com café e pastagem na microbacia do ribeirão Capituvus, local representativo da APA Coqueiral, tendo por base caracterização pedológica e ensaios de compressão uniaxial, resistência do solo à penetração (RP), IHO e porosidade. Coletaram-se amostras indeformadas de Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd), Argissolo Vermelho Eutrófico típico (PVe) e Cambissolo Háplico Distrófico típico (CXbd), para a avaliação da capacidade de suporte de carga (CSC) e a RP, na camada superficial (0-5 cm) e o IHO e a porosidade, nas camadas de 0-5, 20-25 e 40-45 cm. Verificou-se correlação positiva, linear e significativa entre a pressão de preconsolidação e a RP, podendo a CSC ser adequadamente estimada por meio da RP para a camada superficial do LVd, PVe e CXbd. A maior CSC e RP foi observada para o PVe, o que reflete baixa qualidade estrutural e comprometimento das atividades produtivas e de sustentabilidade ambiental neste solo. Os poros com diâmetro >145 µm foram os mais afetados pelo

---

<sup>1</sup> **Orientador:** Geraldo César de Oliveira – DCS/UFLA.



manejo. Apesar de não serem verificadas diferenças estatísticas entre os microporos (poros  $<50 \mu\text{m}$ ), ocorreram variações no IHO, sendo no LVd>CXbd>PVe. Conclui-se que o LVd e o CXbd cultivados com café, em função do bom manejo, não apresentaram restrições físicas ao desenvolvimento das plantas.

## GENERAL ABSTRACT

LIMA, Vico Mendes Pereira. **Structural quality and least limiting water range of cultivated soils in environmental protection area in southern Minas Gerais**. 2008. 74 p. Dissertation (Master's in Soil Science) - Federal University of Lavras, Lavras, MG<sup>2</sup>.

Environmental protection areas (EPAs) are earning notoriety for allying the conservation of natural resources to the sustainable production of food crops, thus comprising an important agent in the battle for environmental preservation. For the adaptation of human activities to the characteristics of the environment, based on studies of potentials and limitations of the area, in these conservation units, important results have been achieved as to the maintenance of the diversity of environments, species and natural processes. The objective of this study was to evaluate the structural quality and the least limiting water range (LLWR) of soils cultivated with coffee and pastures in the microbasin of Capituvas river, an area representative of the Coqueiral EPA, having as a basis, a pedologic characterization and uniaxial compression tests, soil resistance to penetration (PR), LLWR, and porosity. Undisturbed samples of typical Distrophic Red Latosol (LVd), typical Eutrophic Red Argisol (PVe) and typical Distrophic Haplic Cambisol (CXbd) were collected for the evaluation of load support capacity (LSC) and PR, in the superficial layer (0-5 cm), and LLWR and porosity, in the layers of 0-5, 20-25, and 40-45 cm. Positive, linear, and significant correlation between preconsolidation pressure and PR, the LSC being able to be adequately estimated by PR for the superficial layer of LVd, PVe, and CXbd. Higher LSC and PR were observed for PVe, which reflects lower structural quality and compromising of productive activities and environmental sustainability in this soil. Pores with diameter >145 µm were most affected by management. In spite of no statistical differences having been verified among

---

<sup>2</sup> **Orientador:** Geraldo César de Oliveira – DCS/UFLA.

the micropores (pores  $<50 \mu\text{m}$ ), variations occurred in LLWR, being in  $\text{LVd} > \text{CXbd} > \text{PVe}$ . As a result of good management, it was concluded that LVd and CXbd cultivated with coffee presented no physical restrictions to plant development.

## **CAPÍTULO 1**

### **1 INTRODUÇÃO GERAL**

A rápida degradação do solo sob exploração agrícola no mundo, especialmente nos países tropicais em desenvolvimento, tem despertado a preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade ambiental. A adoção rápida, por parte dos produtores, de uma sucessão de inovações mecânicas, biológicas e químicas, cada vez mais difundidas em todo o mundo, tem transformado a agricultura numa máquina poderosa para a produção abundante de alimentos, sendo, muitas vezes, esquecidas as práticas adequadas de uso e manejo. Como consequência, vêm sendo observadas, com maior intensidade, quedas de produtividade e aumento exponencial da degradação dos solos.

Vários são os problemas decorrentes do uso e do manejo inadequado do recurso solo. Destacam-se o impacto adverso no ambiente de práticas de adubação e mecanização, com consequências na perda de solo, na qualidade da água, na biodiversidade e redução da capacidade produtiva. Faz-se necessário um planejamento, com esforço coordenado, visando buscar estratégias de uso e manejo que aumentem a produção e que não comprometam a sustentabilidade do ambiente solo-água-planta-atmosfera (Lal, 1993).

O interesse na qualidade do solo cresce com a preocupação de que esse recurso natural é componente importante da biosfera terrestre, indispensável tanto na produção de alimentos e fibras como na manutenção da qualidade ambiental (Doran & Parkin, 1994). Os conceitos de qualidade do solo mais difundidos são aqueles que destacam seu aspecto funcional. Doran & Parkin (1994) definiram a qualidade do solo como a capacidade deste de funcionar dentro dos limites do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde de animais e plantas.

As condições físicas dos solos que afetam o crescimento das plantas estão diretamente relacionadas à magnitude com que a matriz do solo resiste à deformação e à sua capacidade de fornecer ar e água em proporções adequadas ao pleno desenvolvimento das plantas, os quais afetam diretamente a produtividade agrícola (Silva et al., 1994) e a sustentabilidade ambiental.

Neste contexto, áreas de proteção ambiental (APAs) estão ganhando notoriedade por aliar a conservação dos recursos naturais à produção sustentável de alimentos, compondo, assim, um importante agente na luta pela preservação ambiental. Com base nos estudos de potencialidades e limitações, nessas unidades de conservação, têm-se alcançado importantes resultados relacionados à manutenção da diversidade de ambientes, espécies e processos naturais, pela adequação das atividades humanas às características do meio.

Diante da carência de informações científicas, objetivou-se, com a realização deste trabalho, avaliar a qualidade estrutural do solo e o intervalo hídrico ótimo de áreas cultivadas com café e pastagem, localizadas na área de proteção ambiental do município de Coqueiral (APA Coqueiral), no sul de Minas Gerais, por meio de análises físicas que integram diversos atributos do solo em única avaliação.

A necessidade de realização deste trabalho partiu da preocupação com a exploração racional e sustentável das potencialidades da área da APA e a manutenção da sua integridade ecológica, recuperando danos existentes e antecipando qualquer atividade deletéria ao ambiente. Trata-se do resultado do esforço combinado da comunidade de agricultores da APA Coqueiral, da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais (Emater - MG), do Sindicato Rural, Prefeitura Municipal de Coqueiral e da Universidade Federal de Lavras.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Áreas de proteção ambiental**

Após séculos de utilização irracional dos recursos naturais, a proteção do ambiente tem-se tornado prioridade de todas as nações. Políticas voltadas para a proteção ambiental têm sido propostas e desenvolvidas por entidades governamentais e não governamentais, mas as ações ainda são insuficientes.

A legislação ambiental brasileira dispõe de alguns instrumentos à disposição do poder público e da sociedade para proteção do ambiente, sendo as unidades de conservação (UCs) exemplos desses instrumentos. As áreas de proteção ambiental (APAs) são UCs de uso sustentável protegidas por lei, com objetivos de conservação, preservação de ecossistemas naturais e de processos ecológicos necessários à manutenção da vida. As APAs contribuem para a preservação da biodiversidade e de formas de vida ameaçadas de extinção, assegurando a sustentabilidade do uso dos recursos naturais renováveis, promovendo o estímulo ao desenvolvimento econômico local, permitindo a realização de pesquisas científicas, atividades turísticas, recreativas e, principalmente, contribuindo para a solidificação da identidade cultural de populações humanas (Brasil, 2000).

A perspectiva de uma APA é a de possibilitar um tratamento diferenciado à produção, inserindo a área dentro de um plano de desenvolvimento sustentável. Salienta-se, entretanto, a complexidade advinda de se aliar a produção à preservação ambiental. Neste contexto, não basta a aplicação de leis existentes; é necessário o conhecimento dos diferentes ambientes da área em questão, levantando-se as potencialidades e as limitações.

No caso específico da APA do município de Coqueiral, ou apenas APA Coqueiral, foco deste estudo, é notório o esforço que vem sendo realizado pela

comunidade dos agricultores locais, a Emater, o Sindicato Rural, a Prefeitura Municipal de Coqueiral e a Universidade Federal de Lavras.

O documento de criação da APA Coqueiral (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais - Emater, 2002), o levantamento preliminar de campo e as entrevistas com a comissão administrativa deixam transparecer, entretanto, as dificuldades de colocar em prática os anseios da comunidade, haja vista a carência de informações técnicas e científicas. Nesse sentido, a participação da Universidade Federal de Lavras, em função dos recursos humanos qualificados e da experiência adquirida em outras ações semelhantes, torna-se importante para que o projeto de manejo sustentado possa ser implantado.

Na APA Coqueiral, agricultores com uma visão econômica imediatista e, principalmente, por falta de conhecimento técnico, não planejaram o uso da terra, que deve ser baseado em levantamento dos solos e análise da aptidão das terras. Dessa forma, Argissolos rasos e Cambissolos, que predominam na região (Brasil, 1962), por serem solos muito susceptíveis à erosão (Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária - Embrapa, 2006), não seriam incorporados ao processo produtivo sem os devidos cuidados. A cobertura vegetal primitiva foi reduzida a remanescentes esparsos, em sua maioria bastante perturbados pelo fogo, pela pecuária extensiva ou pela retirada seletiva de madeira. As florestas semidecíduas, em particular, foram drasticamente reduzidas, uma vez que sua ocorrência coincide com os solos mais férteis e úmidos e, portanto, mais visados pela agropecuária (Oliveira Filho et al., 1994). O estado de degradação ambiental da área é lastimável, principalmente pela falta de cobertura vegetal do solo. Os prejuízos para a flora, a fauna e para a população local são evidentes.

A rede hidrográfica da APA Coqueiral pertence à bacia do Rio Grande, que tem grande importância no aporte de água para a região, principalmente considerando que todos os seus corpos hídricos são contribuintes do lago da

Represa de Furnas, que limita a APA em sua face norte, com alguns “braços” no interior da área. A rede de drenagem natural na APA reflete um importante controle estrutural da região. Este complexo hidrológico é composto por vários córregos e ribeirões, formados por um grande número de nascentes (Emater, 2002).

A APA Coqueiral ocupa cerca de 25% do município de Coqueiral. Nessa área vivem, aproximadamente, 400 famílias, distribuídas em 9 comunidades, cuja renda é baseada, principalmente, na cafeicultura e na pecuária (Emater, 2002).

## **2.2 Microbacias hidrográficas como unidades de estudos**

A bacia hidrográfica constitui a unidade territorial para a implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos e a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Ela forma ecossistemas adequados para a avaliação dos impactos causados pela atividade antrópica que pode acarretar riscos ao equilíbrio e à manutenção da qualidade e da quantidade de água, uma vez que esta variável está relacionada com o uso e manejo do solo (Souza, 1996).

De acordo com Rezende et al. (2002), o planejamento e ou exercício da conservação têm, freqüentemente, enfoques reducionistas e aplicam-se apenas a segmentos da paisagem geral, o que leva ao desequilíbrio do ambiente natural por erosão, assoreamento e eutrofização das águas. Portanto, a bacia de drenagem, particularmente a pequena bacia, apresenta, de forma natural, o problema da conservação dos recursos naturais, em razão da interdependência dos atributos bióticos e abióticos no seu interior. Tomando como base para estudos de conservação do ambiente as microbacias hidrográficas, é possível avaliar as relações de clima, solo, organismo e aspectos econômicos. Ainda, de acordo com o autor, é importante conhecer os atributos do solo e da vegetação



que possam interferir nesse processo de degradação ambiental. Esses atributos, quando bem interpretados, subsidiam as previsões de comportamento e realçam as relações de interdependência na microbacia, o que deve resultar em alternativas mais adequadas de uso e manejo dos recursos naturais.

No Brasil, os cursos d'água vêm sofrendo constantes e crescentes contaminações, fruto da utilização inadequada dos recursos naturais existentes na bacia hidrográfica (Assad & Sano, 1998). O estudo do solo e da água e suas interações são essenciais para nortear ações que visem ao uso e ao manejo sustentável dos recursos naturais na microbacia hidrográfica.

Assim, a degradação dos solos cultivados em uma microbacia hidrográfica gera problemas desde a redução da capacidade produtiva à perda de solos que, a partir da interdependência dos recursos naturais, causam problemas na redução da infiltração das águas pluviais com efeitos nocivos aos cursos e aos reservatórios de água e ao ambiente, de maneira geral. Nesse sentido, a exploração planejada, sustentada em princípios sólidos relativos à aptidão e à capacidade de uso dos solos, é fundamental.

### **2.3 Alterações estruturais em solos cultivados**

A história de degradação e de conseqüente queda da produção do solo coincide com a diminuição da qualidade estrutural (Rezende, 1997). Diferentes sistemas de uso e manejo alteram a estrutura do solo que, por sua vez, interfere em uma série de atributos físicos, químicos e biológicos (Faria et al., 1998; Kondo & Dias Junior, 1999; Singh & Malhi, 2006).

A estrutura do solo é definida como sendo o arranjo de partículas do solo e do espaço poroso entre elas, incluindo ainda a forma, o tamanho e o arranjo dos agregados, formados pelas partículas primárias, que se agrupam em unidades com limites definidos (Marshall, 1962). Este espaço poroso tem sido classificado em macroporos (maior que 50 µm de diâmetro),

que são caracterizados como poros de aeração e drenagem e microporos (menor que 50 µm de diâmetro) que armazenam água para plantas e organismos do solo.

Diante disso, áreas mecanizadas, com o uso indiscriminado de diferentes sistemas de manejo, e áreas de pastagens onde a preocupação é menor ainda, estão exposta à degradação do solo, com impactos adversos ao ambiente de produção, destacando-se o processo de compactação do solo (Dias Junior, 2000). Assim, melhorar e preservar a qualidade estrutural do solo em áreas cultivadas são de fundamental importância para se obter maiores produtividades com conservação ambiental (Secco et al., 2005; Libardi & Fernandes, 2006).

O uso de indicadores de qualidade estrutural do solo tem sido sugerido para a quantificação das alterações nas propriedades físicas do solo (Imhoff, 2002; Horn, 2003, Oliveira et al., 2003a, b; Dias Junior et al., 2007; Oliveira et al., 2007; Tormena et al., 2007; Silva et al., 2007).

A qualidade física deve incluir atributos relacionados com a magnitude com que a matriz do solo resiste à deformação e com a sua capacidade de fornecer ar e água em proporções adequadas ao pleno desenvolvimento das plantas (Singer & Ewing, 2000).

Segundo Imhoff (2002), embora diversos atributos possam ser utilizados como indicadores de qualidade estrutural, há um consenso de que os mais adequados são aqueles que influenciam diretamente a produção das culturas e aqueles envolvidos com a capacidade de suporte de carga do solo.

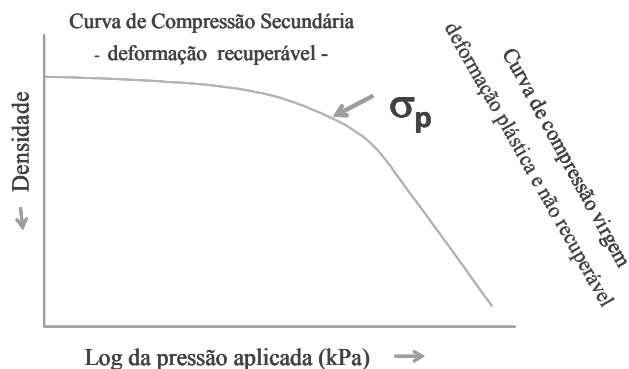
#### **2.4 Compactação e comportamento compressivo do solo**

A compactação do solo pode reduzir o rendimento das culturas e também provocar danos ambientais, levando à maior exposição do solo, que se torna mais susceptível aos agentes erosivos, com conseqüente desestruturação e perda da capacidade de absorção de água. A mesma tem origem na compressão do solo não saturado, durante a qual a densidade do solo sofre um incremento

em decorrência da deformação, rearranjo das partículas sólidas e deslocamento do ar presente nos poros (Gupta et al., 1989). Reduções significativas ocorrem, principalmente, no volume dos macroporos (Hillel, 1982), podendo ou não ocorrer mudanças no volume de microporos (Oliveira et al., 2003b).

A intensidade com que o solo não saturado decresce em volume, quando sujeito à pressão, é chamada de compressibilidade (Gupta & Allmaras, 1987). O comportamento compressivo do solo é função de fatores internos e externos. Entre os fatores externos relacionados ao manejo dos solos, destacam-se o tipo, a intensidade e a frequência da carga aplicada ao solo (Castro Neto, 2001). Os fatores internos estão relacionados com o histórico de tensão aplicada (Gupta et al., 1989; Dias Junior, 1994), o conteúdo de água no solo ou tensão (Dias Junior, 1994; Oliveira et al., 2003b), a textura, a estrutura e a densidade inicial do solo (Larson et al., 1980; Gupta et al., 1989; Dias Junior, 1994; Silva et al., 2001), a mineralogia da fração argila, os óxidos e os hidróxidos de ferro e o alumínio e outros atributos, como pH e CTC (Assouline et al., 1997).

Levando esses aspectos em consideração, Dias Junior (1994) desenvolveu um modelo de capacidade de suporte de carga, que prediz a pressão máxima que o solo pode suportar para diferentes conteúdos de água, sem causar compactação adicional, em função da pressão de preconsolidação e do conteúdo de água no solo. Essa pressão divide a curva de compressão do solo em duas regiões: uma de deformação pequena, elástica e recuperável (curva de compressão secundária, indicando a presença de um histórico de tensão aplicada no solo) e outra de deformação plástica e não recuperável (reta de compressão virgem) (Figura 1). A pressão de preconsolidação é utilizada como indicador da capacidade de suporte de carga e da qualidade estrutural, por diversos autores (Dias Junior & Pierce, 1995; Oliveira et al., 2003b; Peng et al., 2004; Severiano et al., 2008).



**FIGURA 1.** Curva de compressão do solo, quando este já sofreu pressão prévia.  $\sigma_p$ : pressão de preconsolidação. Fonte: Dias Junior & Pierce (1996).

Dessa forma, estudos sobre o comportamento compressivo dos solos agrícolas em condições não saturadas são necessários para prever o efeito da compactação devido à intensiva mobilização do solo e ao tráfego sob condições inadequadas de umidade (Silva et al., 2001) e devido ao excessivo pisoteio do gado durante a pastagem (Kondo & Dias Junior, 1999). O IHO é definido como a amplitude do conteúdo de água no solo, na qual o potencial mátrico, o oxigênio e a resistência mecânica não são limitantes para o crescimento de plantas (Silva et al., 1994). A amplitude do IHO representa o risco de exposição das culturas às condições físicas inadequadas (Silva & Kay, 1997). A quantificação do IHO exige a determinação dos limites superiores e inferiores de água disponível às plantas. Os limites superiores são determinados pelo conteúdo de água no solo referente à capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ) ou à porosidade de aeração ( $\theta_{PA}$ ), e os limites inferiores, pelo conteúdo de água do solo no ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ) ou pelo conteúdo de água no solo que promove resistência do solo à penetração limitante ao desenvolvimento radicular ( $\theta_{RP}$ ).

Silva et al. (2001) ressaltam que diferentes valores críticos podem ser utilizados sem alterar a aplicabilidade do conceito. Se o solo apresentar estrutura

ideal ao desenvolvimento das plantas, os limites superior e inferior serão respectivamente, a  $\theta_{CC}$  e  $\theta_{PMP}$ , correspondendo ao conteúdo de água disponível (AD) (Silva et al., 2001). Entretanto, com a degradação estrutural do solo ocorre a substituição desses limites por  $\theta_{PA}$  e  $\theta_{RP}$ , reduzindo o IHO (Figura 2) (Tormena et al., 1998; Leão et al., 2004), tornando-o, assim, um indicador mais sensível às alterações estruturais que a AD (Silva et al., 1994). A diminuição do IHO, de A para C, na Figura 2, indica um processo de degradação da qualidade estrutural do solo, no que diz respeito ao crescimento das plantas (Tormena et al., 1998; Beutler et al., 2004; Leão et al., 2004). O decréscimo do IHO pode ser induzido, por exemplo, pela compactação do solo, sendo o IHO o indicador mais sensível às alterações estruturais que a AD (Silva et al., 1994).

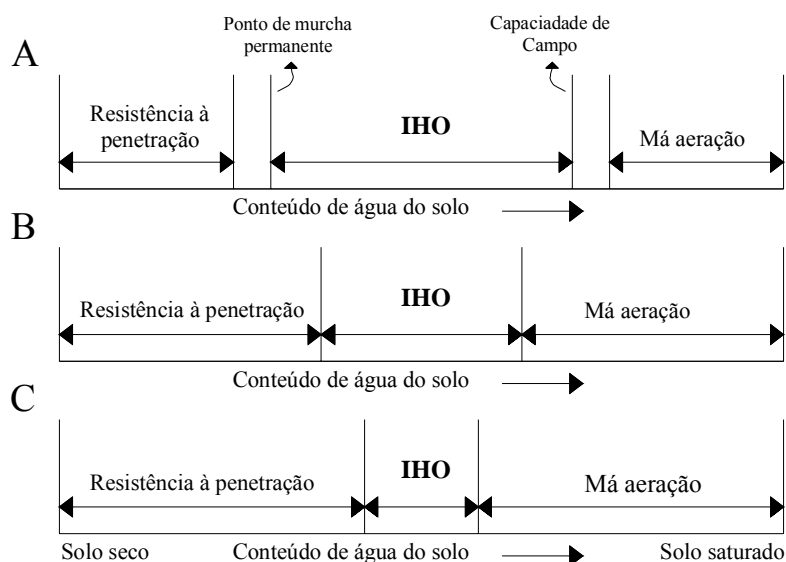
## **2.5 Intervalo hídrico ótimo**

O conceito de um único parâmetro que descreve a amplitude hídrica do solo, incorporando limitações ao desenvolvimento de plantas relacionadas à aeração, à resistência à penetração e ao potencial matricial do solo, foi quantificado e identificado por Silva et al. (1994) como *least limiting water range* ou intervalo hídrico ótimo (IHO).

O IHO é definido como a amplitude do conteúdo de água no solo, na qual o potencial mátrico, o oxigênio e a resistência mecânica não são limitantes para o crescimento de plantas (Silva et al., 1994). A amplitude do IHO representa o risco de exposição das culturas às condições físicas inadequadas (Silva & Kay, 1997). A quantificação do IHO exige a determinação dos limites superiores e inferiores de água disponível às plantas. Os limites superiores são determinados pelo conteúdo de água no solo referente à capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ) ou à porosidade de aeração ( $\theta_{PA}$ ), e os limites inferiores, pelo conteúdo de água do solo no ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ) ou pelo conteúdo de água

no solo que promove resistência do solo à penetração limitante ao desenvolvimento radicular ( $\theta_{RP}$ ).

Silva et al. (2001) ressaltam que diferentes valores críticos podem ser utilizados sem alterar a aplicabilidade do conceito. Se o solo apresentar estrutura ideal ao desenvolvimento das plantas, os limites superior e inferior serão respectivamente, a  $\theta_{CC}$  e  $\theta_{PMP}$ , correspondendo ao conteúdo de água disponível (AD) (Silva et al., 2001). Entretanto, com a degradação estrutural do solo ocorre a substituição desses limites por  $\theta_{PA}$  e  $\theta_{RP}$ , reduzindo o IHO (Figura 2) (Tormena et al., 1998; Leão et al., 2004).



**FIGURA 2.** Relação entre o conteúdo de água e os fatores físicos do solo que limitam o crescimento das plantas. A deterioração estrutural e a redução na qualidade física do solo ocorrem de A para C. Fonte: Adaptado de Silva et al. (2001).

A diminuição do IHO, de A para C, na Figura 2, indica um processo de degradação da qualidade estrutural do solo, no que diz respeito ao crescimento

das plantas (Tormena et al., 1998; Beutler et al., 2004; Leão et al., 2004). O decréscimo do IHO pode ser induzido, por exemplo, pela compactação do solo, sendo o IHO o indicador mais sensível às alterações estruturais que a AD (Silva et al., 1994).

O IHO é considerado um indicador de qualidade estrutural que abrange, em torno de um único parâmetro, três fatores físicos que afetam diretamente na produtividade agrícola (água, ar e resistência à penetração do sistema radicular) (Imhoff, 2002). Tormena et al. (2007) destacam que o IHO significa grande avanço nos estudos da biofísica do solo, sendo o indicador que melhor se correlaciona ao crescimento das plantas.

### 3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de informações geográficas**: Aplicações na Agricultura. 2. ed. Brasília: EMBRAPA/SPI, 1998. v. 1. 434 p.

ASSOULINE, S.; TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Effect of compaction on physical and hydraulic properties: experimental results and modeling. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 61, n. 2, p. 390-398, Mar./Apr. 1997.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SIVA, A. P.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo na produtividade de arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 575-583, Jun. 2004.

BRASIL. Lei n. 9.985 de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 255, § 1º, incisos I, II, e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de conservação da natureza e da outras providências. **Diário Oficial [da] União Federativa do Brasil**, Brasília, DF, v. 138, p. 1-6, 19 jun. 2000. Seção I.

BRASIL. Ministério da agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. Levantamento de reconhecimento dos solos da região sob influência do reservatório de Furnas: contribuição à carta de solos, + map, scale 1:250, 000. **Boletim do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas**, Rio de Janeiro, n. 13, 462 p. 1962.

CASTRO NETO, P. **Desenvolvimento e avaliação de equipamentos e metodologia para determinação de parâmetros físicos do solo relacionados a dias trabalháveis com máquinas agrícolas**. 2001. 155 p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

DIAS JUNIOR, M. S. Compactação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; SCAEFER, C. E. G. C. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 55-94.

DIAS JUNIOR, M. S.; FONSECA, S.; ARAÚJO JÚNIOR, C. F.; SILVA, A. R. Soil compaction due to Forest harvest operations. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 257-264, Feb. 2007.



DIAS JUNIOR, M. S., PIERCE, F. J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Technology**, Amsterdam, v. 8, n. 2, p. 139-151, Nov. 1995.

DIAS JUNIOR, M. S. **Compression of three soils under longterm tillage and wheel traffic**. 1994. 114 p. Tese (Doutorado) - Michigan State University, East Lansing.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: ASA/SSSA. 1994. p. 3-21.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS-EMATER. **Área de Proteção Ambiental do Município de Coqueiral**. Belo Horizonte: Unidade de Consultoria e Projetos, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA . Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Brasília: Sistema de Produção de Informação, 2006. 306 p.

FARIA, L. C.; SHAFER, C. E. R.; RUIZ, H. A. ; COSTA, L. M. Effects of weed control on physical and micropedological properties of brazilian Ustisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 4, p. 731-741, out./jul. 1998.

GUPTA, S. C.; ALLMARAS, R. R. Models to access the susceptibility of soil to excessive compaction. **Advances in Soil Science**, New York, v. 6, p. 65-100, 1987.

GUPTA, S. C.; HADAS, A.; SHAFER, R. L. Modeling soils mechanical behavior during compacttion. In: LARSON, W. E.; BLAKE, G. R.; ALLMARAS, R. R.; VOOHEES, W. B.; GUPTA, S. C. (Ed.). **Mechanical and related process in structured agricultural soils**. The Netherlands: Kluwer Academic, 1989. p. 137-152.

HILLEL, D. **Introduction to Soil Physics**. New York. Academic, 1982. 364 p.

HORN, R. Stress-strain effects in structured unsaturated soils on coupled mechanical and hydraulic processes. **Geoderma**, Amsterdam, v. 116, n. 1-2, p. 77-88, Sept. 2003.

IMHOFF, S. D. C. **Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos**. 2002. 94 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 211-218, abr./jun. 1999.

LAL, R. Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality, and sustainability. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 27, n. 1-4, p. 1-8, Oct. 1993.

LARSON, W. E.; GUPTA, S. C.; USECHE, R. A.; Compression of agricultural soils from eight soil orders. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 44, n. 3, p. 450-457, May/June 1980.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P. ; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S. D. C.; EUCLIDES, V. P. B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 415-422, maio/jun. 2004.

LIBARDI, P. L.; FERNANDES, F. C. S. Avaliação da qualidade do solo a partir de indicadores físico-hídricos do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA: novos desafios do carbono o manejo conservacionista, 16, 2006, Aracaju. **Palestras...** Aracaju: SBCS, 2006.

MARSHALL, T. J. The nature, development, and significance of soil structure. In: NEALE, G. J. (Ed.). **Trans. of joint meeting of commissions iv e v (ISSS)** Palmerston North: New Zealand, 1962. p. 243-257.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; VILELA, E. A.; GAVILANES, M. L.; CARVALHO, D. A. Comparison of the woody flora and soils of six areas of montane semideciduous forest in southern Minas Gerais, Brazil. **Edinburgh Journal of Botany**, Edinburgh, v. 51, n. 3, p. 355-389, 1994.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Alterações Estruturais e Comportamento Compressivo de um Latossolo Vermelho do Cerrado sob diferentes Sistemas de Manejo por 20 anos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 291-299, fev. 2003b.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Compressibilidade de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso de acordo com a tensão de água no solo, uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 773-781, jul./ago. 2003a.

PENG, S. H.; HORN, R.; ZHANG, B.; ZHAO, Q. G. Mechanisms of soil vulnerability to compaction of homogenized and recompact Ultisols. **Soil & Tillage Research**, Asmertam, v. 76, n. 2, p.125-137, Apr. 2004.

REZENDE, J. O. Compactação e Adensamento do Solo, Metodologia para Avaliação e Práticas Agrícolas Recomendadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: SBCS, 1997.

REZENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia**: base para a distinção de ambientes. 4. ed. Viçosa, MG: NEPUT, 2002. 338 p.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; FERREIRA, F. P. Parâmetros de compressibilidade de um Latossolo influenciados pelo estado inicial de compactação e grau de saturação em água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO: solos, sustentabilidade e qualidade estrutural, 30., 2005, Recife. **Palestras...** Recife: SBCS, 2005.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; OLIVEIRA, L. F. C.; CASTRO, M. B. Pressão de preconsolidação e intervalo hídrico ótimo como indicadores de alterações estruturais do solo em decorrência das operações de colheita da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, 2008. No prelo.

SILVA, A. P.; KAY, B. D. Estimating The Least Limiting Water Range Of Soils From Properties And Management. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, n. 3, p. 877-883, May/June 1997.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization Of The Least Limiting Water Range Of Soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 6, p. 1775-1781, Nov./Dec. 1994.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M. H.; MULLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. (Coord.). **Qualidade física do solo: métodos de estudo – sistema de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. p. 1-20.

SILVA, A. R.; DIAS JUNIOR, M. S.; LEITE, F. P. Camada de resíduos florestais e pressão de preconsolidação de dois latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 1, p. 89-93, jan. 2007.

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

SINGH, B.; MALHI, S. S. Response of soil physical properties to tillage and residue management on two soils in a cool temperate environment. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 85, n. 1-2, p. 143-153, Jan. 2006.

SOUZA, E. R. **Alterações físico-químicas no deflúvio de três sub-bacias hidrográficas de decorrentes agrícolas**. 1996. 160 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J. M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico em sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 211-219, 2007.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. & SÁ, J.C. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 2, p. 301-309, abr./jun. 1998.

## CAPÍTULO 2

### QUALIDADE ESTRUTURAL DE SOLOS CULTIVADOS COM CAFÉ E PASTAGEM EM ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO SUL DE MINAS GERAIS

#### RESUMO

LIMA, Vico Mendes Pereira. Qualidade estrutural de solos cultivados com café e pastagem em área de proteção ambiental do sul de Minas Gerais. In: \_\_\_\_\_. **Qualidade estrutural e intervalo hídrico ótimo de solos cultivados em área de proteção ambiental do sul de Minas Gerais**. 2008. Cap. 2, p. 20-40. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG<sup>3</sup>.

O estudo do solo em áreas de proteção ambiental (APAs) é de grande importância, pelo fato de este ser componente essencial dos ecossistemas, interferindo diretamente na sustentabilidade do ambiente. Objetivou-se, com este trabalho, avaliar a qualidade estrutural de solos cultivados com café e pastagem na microbacia do ribeirão Capituvas, inserido na APA Coqueiral, tendo por base uma caracterização pedológica e utilizando-se os ensaios de compressão uniaxial e resistência do solo à penetração. Coletaram-se amostras indeformadas na camada superficial (0-5 cm) do Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd), do Argissolo Vermelho Eutrófico típico (PVe) e do Cambissolo Háplico Distrófico típico (CXbd). Verificou-se correlação positiva, linear e significativa entre a pressão de preconsolidação e a resistência do solo à penetração, podendo a capacidade de suporte de carga ser adequadamente estimada, por meio da resistência à penetração, para LVd, PVe e CXbd. A maior capacidade de suporte de carga e a maior resistência à penetração foi observada para o PVe, em comparação ao LVd e ao CXbd. Este resultado reflete a baixa qualidade estrutural e o comprometimento das atividades produtivas e a sustentabilidade ambiental neste solo.

---

<sup>3</sup> **Orientador:** Geraldo César de Oliveira – DCS/UFLA.

## ABSTRACT

LIMA, Vico Pereira Mendes. Structural quality of cultivated soils with coffee and pasture in environmental protection area in southern Minas Gerais. In: \_\_\_\_\_ . **Structural quality and least limiting water range of cultivated soils in environmental protection area in southern Minas Gerais.** 2008. Chap. 2, p. 20-40. Dissertation (Master's in Soil Science) - Federal University of Lavras, Lavras, MG.<sup>4</sup>

The study soil in environmental protection areas (EPAs) is of great importance, because this is an essential component of ecosystems, interfering directly in the sustainability of the environment. The objective of this study was to evaluate the structural quality of cultivated soils with coffee and pastures in the microbasin of Capituvas river, an area representative of the Coqueiral EPA, having as a basis, a pedologic characterization and uniaxial compression tests and soil resistance to penetration (PR). Undisturbed samples collected in the superficial layer (0-5 cm) of typical Distrophic Red Latosol (LVd), typical Eutrophic Red Argisol (PVe) and typical Distrophic Haplic Cambisol (CXbd). Positive, linear, and significant correlation between preconsolidation pressure and PR, the of load support capacity (LSC) being able to be adequately estimated by PR for the superficial layer of LVd, PVe, and CXbd. Higher LSC and PR were observed for PVe, which reflects lower structural quality and compromising of productive activities and environmental sustainability in this soil.

---

<sup>4</sup> **Orientador:** Geraldo César de Oliveira – DCS/UFLA.

## 1 INTRODUÇÃO

Áreas de proteção ambiental (APAs) estão ganhando notoriedade por aliar a conservação dos recursos naturais à produção sustentável de alimentos, servindo, assim, de importante agente na luta pela preservação ambiental. Pela adequação das atividades humanas às características do meio, com base nos estudos de potencialidades e nas limitações da área, nestas unidades de conservação, têm-se conseguido importantes resultados relacionados à manutenção da diversidade de ambientes, espécies e processos naturais.

Por ser componente essencial dos ecossistemas, o solo interfere diretamente na sustentabilidade dos mesmos. Autores destacam a importância de estudos da qualidade física dos solos (Oliveira et al., 2003; Imhoff et al., 2000), da qualidade química (Silva et al., 2004; Faquin et al., 2007) e da qualidade biológica (Moreira et al., 2008). A qualidade física, interagindo com as qualidades química e biológica, tem desempenhado forte papel para a estabilidade ambiental, principalmente quando avaliada a partir da gênese do solo, características e propriedades físicas que correlacionam diretamente com o papel do solo nos aspectos hidrológicos.

Neste contexto, avaliações da capacidade de suporte de carga do solo, objetivando a predição da compactação (Dias Junior et al., 2002), tendo por base ensaios de compressão uniaxial (Dias Junior & Pierce, 1995, Peng et al., 2004; Gontijo et al., 2007) e estudos de resistência do solo à penetração (Tormena et al., 1998; Oliveira et al., 2007; Severiano et al., 2008), vêm sendo amplamente utilizados, por considerar vários atributos deste recurso em uma única avaliação.

No município de Coqueiral, região sul de Minas Gerais, cerca de 25% do território foi destinado à criação de uma área de proteção ambiental, a APA Coqueiral, por estar localizada no entorno da represa de Furnas, ser local rico em nascentes e cursos de água e sustentar, aproximadamente, 400 famílias que têm

suas rendas baseadas, principalmente, na cafeicultura e pecuária. Nesta área, entretanto, faltam subsídios para a elaboração de um plano de manejo mais adequado dos solos.

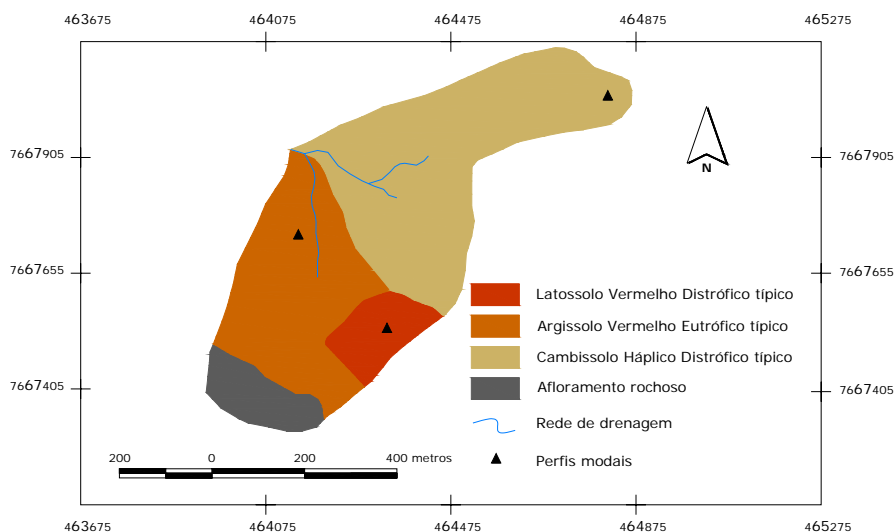
Diante da carência de informações científicas, objetivou-se, com a realização deste trabalho, avaliar a qualidade estrutural de solos cultivados com café e pastagem, na microbacia do ribeirão Capituvas, local representativo da APA Coqueiral, tendo por base uma apropriada caracterização pedológica e utilizando-se ensaios de compressão uniaxial e resistência do solo à penetração, comparando-se os dois ensaios.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

A pesquisa foi conduzida na microbacia do ribeirão Capituvas, localizada na APA Coqueiral. O clima local é classificado, segundo Köppen, como Cwa de verão brando e chuvoso com temperatura moderada. A média de temperatura, no inverno e no outono, é inferior a 18°C, com temperatura mínima inferior a 12°C. A precipitação média anual é de 1.500 mm e a média anual de umidade relativa do ar é de 70% (Empresa de Assistência técnica e Extensão Rural do Estado de Minas - Emater, 2002).

Na condução deste estudo, selecionou-se a microbacia do ribeirão Capituvas, por ser representativa da APA Coqueiral e da região sul do estado de Minas Gerais, nos aspectos referentes a usos, relevo e classes de solo. Os solos foram classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária - Embrapa, 2006), utilizando o Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Santos et al., 2005), para a descrição morfológica de três perfis completos (classificados até o quarto nível categórico) e dezenove perfis complementares. Análises químicas e físicas de laboratório também foram utilizadas na classificação e na construção do mapa detalhado de solos (Figura 1).





**FIGURA 1.** Mapa de solos da microbacia do ribeirão Capituvas, APA Coqueiral.

Localizado no sul de Minas Gerais, o município de Coqueiral possui, na sua maioria, solos rasos e originados do intemperismo de rochas graníticas do período pré-cambriano (Brasil, 1962). O relevo da região é predominantemente ondulado formado por superfícies com pedofoma variando de côncava a convexa nos topos de morros e nos fundos dos vales, respectivamente. O relevo encontra-se bastante dissecado, sendo a erosão hídrica a principal causa desse fenômeno. A presença de afloramentos rochosos também é marcante na região.

As principais classes de solo existentes nas cabeceiras da microbacia do ribeirão Capituvas, totalizando uma área de 33,8 ha, são: Cambissolo Háptico Distrófico típico (CXbd) de textura média, ocupando 51% da área, seguido pelo Argissolo Vermelho Eutrófico típico (PVe) de textura argilosa (33%) e pelo Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd) de textura argilosa (8%). Além destes solos, também são encontrados Neossolo Litólico e afloramentos

rochosos que ocupam 8% da área. A caracterização física e química desses solos encontra-se na Tabela 1.

Dentro da microbacia, a pesquisa foi conduzida em LVd, PVe e CXbd cultivados com café e pastagem e pertencentes a distintos agricultores que adotam manejos diferenciados. Estes usos representam, respectivamente, 8% e 84% da cobertura vegetal da microbacia (vide Anexo, Figura 1B). Estas culturas foram escolhidas por serem a base da economia da região. Foram coletadas, em cada solo, amostras indeformadas em seis pontos diferentes, sendo três na área cultivada com café e três na área de pastagem. Utilizando-se o amostrador de Uhland, anéis volumétricos de 6,40 cm de diâmetro e 2,50 cm de altura foram coletados na camada superficial de cada solo, com seu respectivo uso totalizando 108 amostras (3 solos x 2 usos x 6 pontos x 3 repetições).

As amostras indeformadas foram saturadas e, utilizando-se da coluna de sucção (Reichert & Reinert, 2006) e evaporação, secas até atingir conteúdos de água entre as tensões -10 a -1500 kPa. Metade das amostras (54 amostras) foi submetida ao ensaio de compressão uniaxial (Dias Júnior, 1994) e a outra metade submetida ao ensaio de resistência à penetração (RP) (Tormena et al., 1998).

O ensaio de compressão uniaxial foi realizado aplicando-se pressões em cada amostra, obedecendo à seguinte ordem: 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kPa; cada nível de pressão foi aplicado até que se atingisse 90% da deformação máxima (Taylor, 1948), para, então, se aplicar o nível seguinte. Após o ensaio, as amostras foram secas em estufa, a 105°C, por 48 horas, para a determinação da densidade do solo ( $D_s$ ). A pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ) foi obtida segundo Dias Junior & Pierce (1995). Os modelos de capacidade de suporte de carga dos solos foram obtidos ajustando-se a  $\sigma_p$  de nove amostras, em função do conteúdo volumétrico de água no solo (Dias Junior, 1994; Gontijo et al., 2007),

empregando-se o software Sigma Plot 10.0 (2006). As comparações das equações de regressão foram realizadas segundo Snedecor & Cochran (1989).

A RP foi determinada utilizando-se penetrômetro eletrônico modelo MA 933, marca Marconi, com velocidade constante de 10 cm min<sup>-1</sup>. Foram realizados quatro testes por amostra, em diferentes conteúdos de água. Após os testes, as amostras foram secas em estufa, a 105°C, por 48 horas, para a determinação da Ds. Os valores de RP, obtidos em kgf cm<sup>-2</sup>, foram multiplicados pelo fator 0,098, para a transformação em MPa e ajustados a modelos não lineares, em função do conteúdo volumétrico de água ( $\theta$ ), utilizando-se a equação 1 (Dias Junior, 1994) e o software Sigma Plot 10.0 (2006). As comparações das equações de regressão foram realizadas segundo Snedecor & Cochran (1989).

$$RP = 10^{(a + b*\theta)} \quad (1)$$

sendo RP: resistência à penetração (MPa); a e b: parâmetros de ajuste do modelo e  $\theta$ : conteúdo volumétrico de água (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>).

Amostras deformadas, obtidas das sobras das porções superiores e inferiores dos anéis, foram utilizadas na determinação da densidade de partícula (Dp), por meio do método do balão volumétrico (Blake & Hartge 1986b). As análises de condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) (Lima et al., 1990), densidade do solo (Ds) (Blake & Hartge 1986a) e resistência à penetração na tensão de -10 kPa (RP<sub>-10kPa</sub>) foram realizadas em anéis volumétricos (8,25cm de altura x 6,95cm de diâmetro), retirados com amostrador de Uhland em cada ponto amostral, sendo realizadas três repetições, totalizando 54 amostras.

Os resultados de pH, da matéria orgânica do solo e das determinações do complexo sortivo dos horizontes superficiais e diagnósticos dos três solos estudados são apresentados na Tabela 1.

**TABELA 1.** pH em água, matéria orgânica do solo (MOS) e componentes do complexo sortivo do Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd), Argissolo Vermelho Eutrófico típico (PVe) e Cambissolo Háptico Distrófico típico (CXbd), da microbacia do ribeirão Capituvas, APA Coqueiral.

Camada (cm)	pH	MOS dag kg <sup>-1</sup>	P mg dm <sup>-3</sup>	K	Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg	Al	V <sup>1</sup> %	m <sup>2</sup>
Latossolo Vermelho Distrófico típico – LVd									
0 – 5	4,5	3,1	1,4	41	0,2	0,1	2,0	3,1	83
80 – 100	4,5	1,8	0,6	8	0,5	0,2	1,5	6,8	68
Argissolo Vermelho Eutrófico típico – PVe									
0 – 5	5,7	2,2	1,2	89	2,3	0,9	0,2	46,2	6
50 – 70	5,8	0,6	1,2	33	1,8	0,8	0,2	50,8	7
Cambissolo Háptico Distrófico típico – CXbd									
0 – 5	6,0	2,1	2,8	246	2,1	1,1	0,2	54,5	5
25 – 45	5,4	0,8	0,9	131	0,2	0,1	1,2	15,1	65

1 – saturação por bases (V); 2 – saturação por Al (m).

Os resultados das análises de  $D_s$ ,  $K_{sat}$  e  $RP_{-10kPa}$  foram submetidos à análise exploratória dos dados, para a obtenção da distribuição e medidas de dispersão. Simultaneamente, foi realizada análise da normalidade dos erros, aplicando-se o teste de Shapiro-Wilk. Nos tratamentos em que foi verificada a normalidade dos erros, os dados foram submetidos à análise de variância e a comparação das médias feita pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, utilizando-se do programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2005).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados dos processos de intemperismo e pedogênese, após as transformações dos minerais presentes nas rochas de origem até a concentração de elementos nos solos originados, podem ser analisados por meio da digestão de amostras dos solos por  $H_2SO_4$  (Vettori, 1969; Embrapa, 1997). Assim, como parâmetros auxiliares às correlações entre os materiais de origem e a composição química dos solos da região, bem como auxílio na classificação dos perfis e no conhecimento da mineralogia, textura e estrutura, foram analisados teores de óxidos constituintes nos horizontes diagnósticos dos solos (Tabela 2).

**TABELA 2.** Caracterização física e química do Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd), Argissolo Vermelho Eutrófico típico (PVe) e Cambissolo Háplico Distrófico típico (CXbd), da microbacia do ribeirão Capituvas, APA Coqueiral.

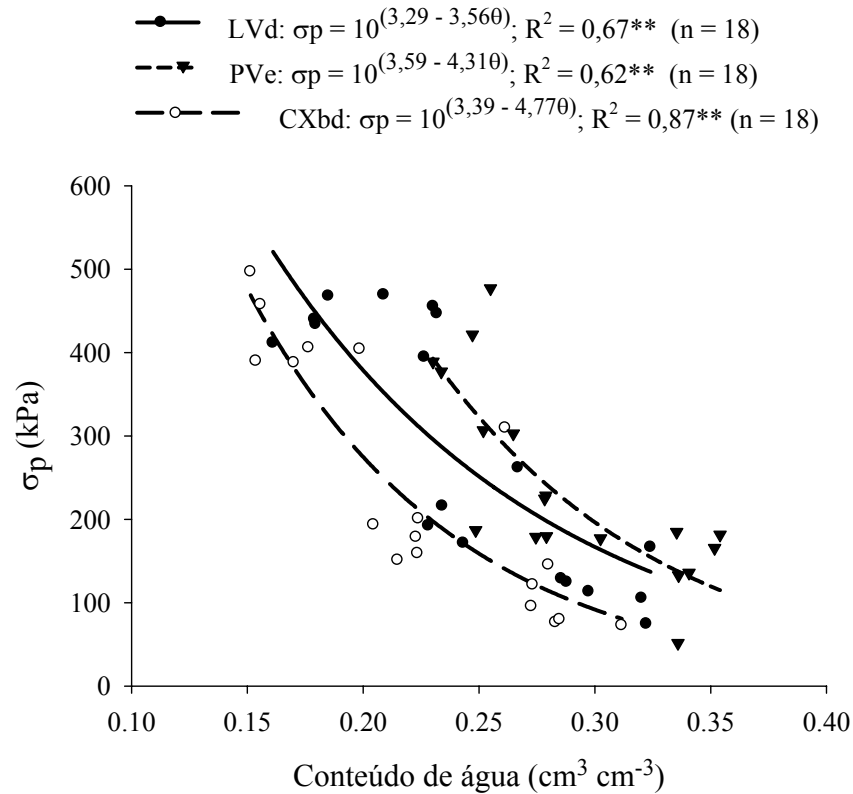
Camada <sup>1</sup> (cm)	Dp <sup>2</sup> g cm <sup>-3</sup>	Granulometria			Ataque sulfúrico				
		Argila	Silte	Areia	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ki	Kr
-----g kg <sup>-1</sup> -----									
Latossolo Vermelho Distrófico típico – LVd									
0 – 5	2,50	552	115	333	-	-	-	-	-
80 – 100	2,67	589	91	320	188	208	89	1,53	1,20
Argissolo Vermelho Eutrófico típico – PVe									
0 – 5	2,53	264	184	552	-	-	-	-	-
50 – 70	2,70	560	127	313	231	208	101	1,89	1,44
Cambissolo Háplico Distrófico típico – CXbd									
0 – 5	2,60	270	200	530	-	-	-	-	-
25 – 45	2,60	213	271	516	166	147	25	1,92	1,73

<sup>(1)</sup> : Profundidades correspondentes à camada superficial e horizonte B (diagnóstico) dos solos; <sup>(2)</sup> : Densidade de partícula pelo método do balão volumétrico. Ki = relação molecular SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; Kr = relação molecular SiO<sub>2</sub>/(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Segundo Lebert & Horn (1991), a susceptibilidade do solo à degradação é influenciada por uma combinação de fatores intrínsecos e extrínsecos, destacando-se mineralogia, textura e estrutura. É importante relatar que a mineralogia e a textura são propriedades do solo que em curto intervalo de tempo não são alteradas. Observa-se, pelos dados da Tabela 2, que os solos apresentaram mineralogia caulínica ( $K_r > 0,75$ ) (Embrapa, 2006).

Alterações na estrutura dos solos estudados vêm ocorrendo devido ao preparo e ao manejo adotados para o cultivo de café e pastagem. Analisando-se o comportamento compressivo dos três solos, verificou-se maior capacidade de suporte de carga (CSC) no PVe, seguido pelo LVd e CXbd. Os três solos apresentaram comportamentos diferenciados em termos de CSC, sendo homogêneos para as regressões, não significativos para o coeficiente linear e significativos para o coeficiente angular ( $F = 13,97$ ;  $p < 0,001$  entre o CXbd e LVd e  $F = 6,34$ ;  $p < 0,05$  entre o LVd e PVe), segundo os procedimentos estatísticos sugeridos por Snedecor & Cochran (1989) (Figura 1).

A maior CSC observada para o PVe é um reflexo da combinação dos maiores valores de densidade do solo (Tabela 3), resultantes da textura média na camada superior (Dias Junior et al., 2002), aliada ao uso mais intensivo deste solo, como sugere o estado de degradação da pastagem e do cafezal. Este solo apresentou estrutura moderada a forte, em blocos de tamanho médio a grande, o que, segundo Peng et al. (2004), contribui para maior capacidade suporte de carga aos solos.



**FIGURA 1.** Modelos de capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd), Argissolo Vermelho Eutrófico típico (PVe) e Cambissolo Háplico Distrófico típico (CXbd) cultivados com café e pastagem, na profundidade de 0-5 cm, na microbacia do ribeirão Capituvas, APA Coqueiral.

Salienta-se que as forças coesivas e de atrito entre partículas atuam, com maior intensidade, em solos que já sofreram maior alteração na sua estrutura (Michel, 1976), o que se sobrepõe ao efeito que a água exerce no comportamento compressivo do solo (Kondo & Dias Junior, 1999), na faixa de tensões de água estudadas. O efeito da pré-compactação também foi verificado por Silva et al. (2002), que constataram aumento significativo da pressão de

preconsolidação de 68 kPa para 164 kPa, para valores de densidade do solo de 1,3 e 1,6 g cm<sup>-3</sup>, respectivamente, em um Argissolo Vermelho-Amarelo.

O CXbd apresentou a menor CSC (Figura 1). Por ser o solo menos intemperizado ( $K_i = 1,92$ ) (Tabela 2), normalmente com fraca estruturação e mais coeso, esperava-se maior CSC, comparado aos outros solos estudados. Entretanto, este solo parece apresentar histórico de tensão menos degradante, confirmado pelo melhor estado de conservação da pastagem e, particularmente, do cafezal implantado no mesmo.

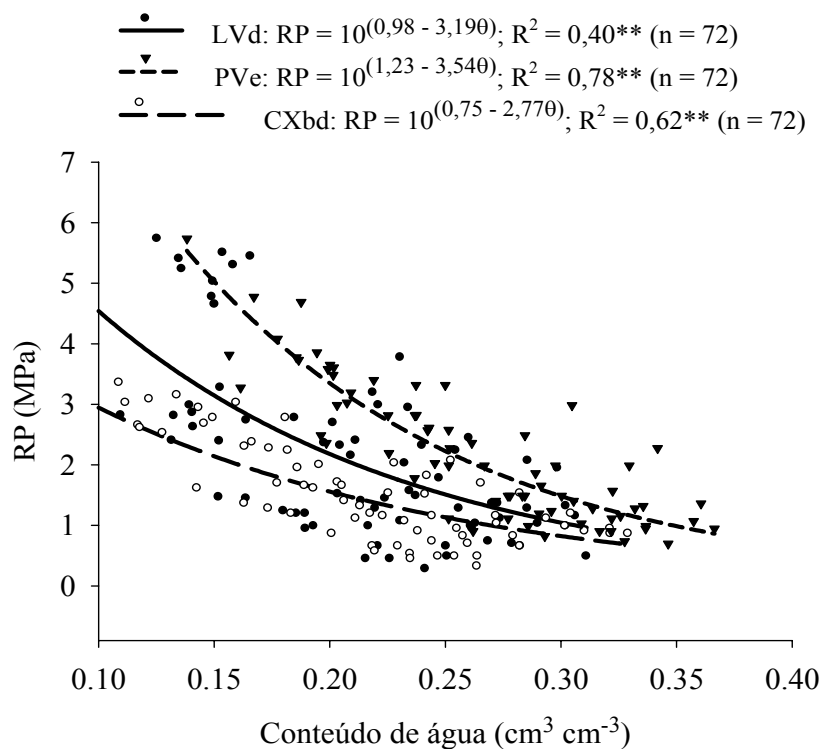
Por outro lado, no LVd, em função do maior grau de intemperismo ( $K_i = 1,52$ ) (Tabela 2), que está associado ao maior grau de evolução da estrutura formada por grânulos pequenos com forte grau de agregação e elevado espaço poroso (Peng et al., 2004; Santos et al., 2005) e textura argilosa, era esperada a menor CSC dentre os três solos estudados. Porém, este apresentou capacidade intermediária de suporte de carga, fato atribuído ao manejo degradante a que o mesmo vem sendo submetido, refletido particularmente pela erosão laminar já bem visível na área.

Os valores de pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ) (estimativa da capacidade de suporte de carga do solo) correlacionaram-se positiva e significativamente com os valores de resistência à penetração (RP), em diferentes conteúdos volumétricos de água no solo ( $\theta$ ). O PVe apresentou maiores valores de RP, seguido do LVd e CXbd (Figura 2). Estudos de RP em função da umidade foram realizados por vários autores, dentre eles Imhoff et al. (2000), Oliveira et al. (2007) e Severiano et al. (2008), que demonstraram a importância da RP na determinação da qualidade física dos solos.

Diferenças significativas foram encontradas entre os modelos de RP em função da umidade para os três solos. O CXbd diferiu do LVd no coeficiente angular ( $F = 10,05$ ;  $p < 0,001$ ) e o LVd do PVe na homogeneidade e no coeficiente angular ( $F = 40,28$ ;  $p < 0,001$ ), segundo os procedimentos estatísticos



sugeridos por Snedecor & Cochran (1989). A diminuição da RP com o aumento da umidade pode ser atribuída à redução da coesão e do ângulo de fricção interna, causados pela elevação do conteúdo de água (Camp & Gill, 1969).



**FIGURA 2.** Modelos de resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd), Argissolo Vermelho Eutrófico típico (PVe) e Cambissolo Háptico Distrófico típico (CXbd) cultivados com café e pastagem, na profundidade de 0-5 cm, na microbacia do ribeirão Capituvas, APA Coqueiral.

Os maiores valores de RP no PVe, seguido do LVd e, por último, do CXbd, reafirmam o que foi constatado na avaliação da CSC, sugerindo que os fatores que interferem nos resultados de  $\sigma_p$  estão também intimamente relacionados a RP. Autores como Culley & Larson (1987) e Lima et al. (2006)

também verificaram uma relação significativa, positiva e linear entre a RP e a  $\sigma_p$ , ou seja, valores superiores de  $\sigma_p$  estiveram associados ao incremento da RP.

Verifica-se que os valores de  $\sigma_p$  podem ser seguramente estimados por meio da avaliação da RP, o que é muito positivo, tendo em vista o fato de a análise de RP ser mais barata, simples e rápida. A relação entre  $\sigma_p$  e RP para os solos estudados obedeceu aos seguintes modelos e coeficientes de ajustes. Esta relação é válida para conteúdos de água entre 0,1 e 0,4  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ . A unidade da  $\sigma_p$  em kPa e da RP em MPa.

$$\text{LVd: } \sigma_p = 0,18 \text{ RP; } R^2 = 0,99^{**}$$

$$\text{PVe: } \sigma_p = 0,47 \text{ RP; } R^2 = 0,99^{**}$$

$$\text{CXbd: } \sigma_p = 0,53 \text{ RP; } R^2 = 0,98^{**}$$

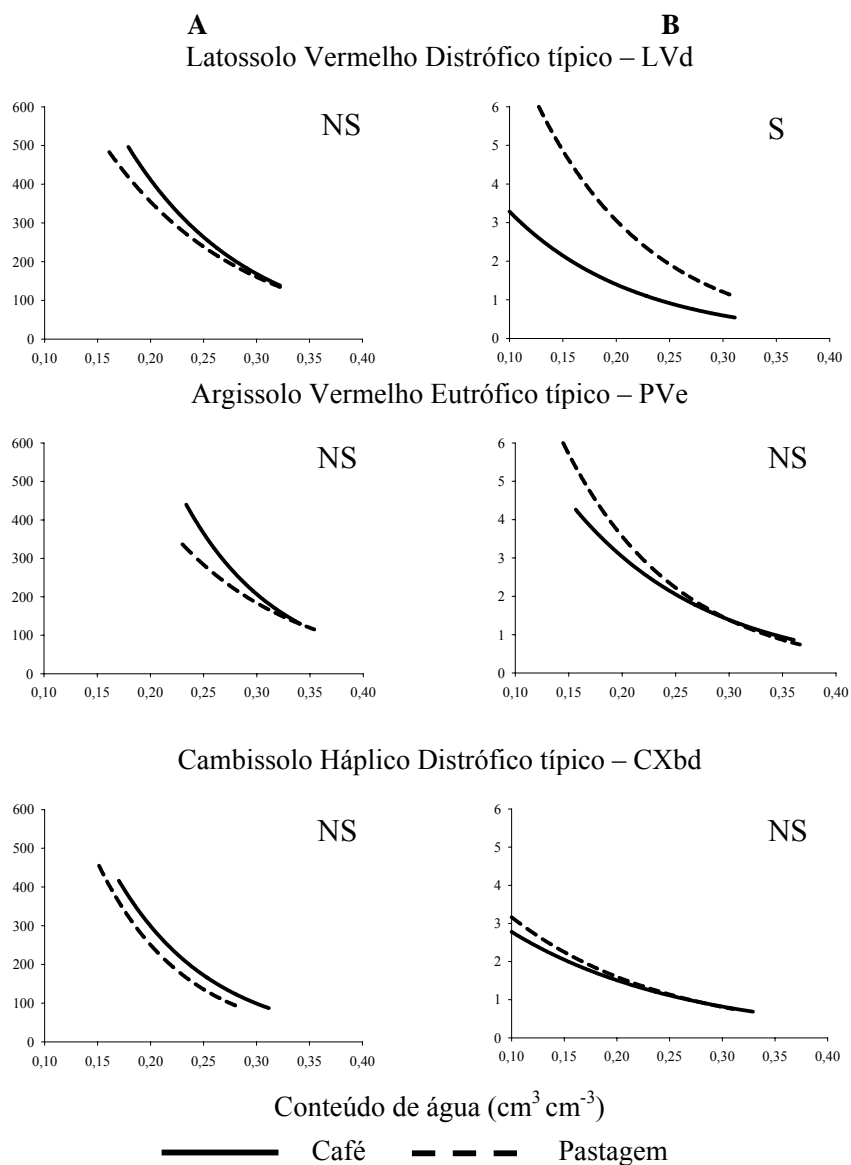
Por meio da Figura 2, verifica-se que a amplitude da RP é menor para o CXbd, somente atingindo valores maiores que 2,5 MPa, considerados restritivos ao bom desenvolvimento da maioria das culturas (Camargo & Alleoni, 1997), para umidades inferiores a 0,13  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ . Isso indica um melhor estado de preservação da estrutura do solo (Oliveira et al., 2007), tendo em vista que essas condições somente são atingidas quando o conteúdo de água neste solo está muito baixo.

A avaliação comparativa da  $\sigma_p$  e da RP nas glebas de café e pastagem, dentro das classes de solo, evidencia o padrão de manejo a que o solo e a cultura vêm sendo submetidos (Figura 3). Quando os fatores mineralogia e textura são os mesmos, o solo que apresenta melhor manejo (Oliveira et al., 2003), incluindo o histórico de utilização da área (Kondo & Dias Junior, 1999), será também o que apresentará melhor qualidade estrutural.

Na Figura 3, observa-se que a  $\sigma_p$  e a RP apresentam sensibilidade semelhante no diagnóstico da qualidade estrutural destes solos. Utilizando-se os procedimentos estatísticos sugeridos por Snedecor & Cochran (1989), encontraram-se diferenças significativas somente na RP do LVd.

No CXbd e PVe não foram observadas diferenças no comportamento compressivo e na RP, quando este solo é cultivado com café ou pastagem. Como o CXbd avaliado apresentou o melhor estado de conservação dentre os três solos estudados, sugere-se que este resultado esteja relacionado com a preocupação do proprietário em manejar adequadamente o solo, tanto na condição de solo sob café quanto sob pastagem.

Na Figura 3A, constata-se que há uma tendência de as curvas de CSC do LVd e do PVe, cultivados com café e pastagem, se aproximarem para altos conteúdos de água no solo, região onde a água passa a governar o processo de compressão do solo (Kondo & Dias Junior, 1999). Quando o solo está seco, ocorre maior diferença na  $\sigma_p$ , sendo a estrutura a principal responsável pelo suporte de carga (Carpenedo, 1994). Este comportamento é atribuído à melhor estruturação e resiliência dos solos cultivados com café, principalmente quando, no solo, são verificadas maiores adições de resíduos e ausência de revolvimento profundo (Soane, 1990).



**FIGURA 3.** Pressão de preconsolidação (A) (kPa) e resistência à penetração (B) (MPa) da camada superficial de solos cultivados com café e pastagem na microbacia do ribeirão Capituvas, APA Coqueiral. S: curvas apresentam diferença significativa; NS: curvas não apresentam diferenças significativas pelo teste sugerido por Snedecor & Cochran (1989).

Os resultados da densidade do solo ( $D_s$ ), da resistência do solo à penetração na tensão de -10 kPa ( $RP_{-10kPa}$ ) e condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) (Tabela 3), nos cilindros de 8,25 x 6,95 cm, confirmam as tendências observadas no diagnóstico da qualidade estrutural realizados com base na  $\sigma_p$  e RP. Para as três classes de solos, em que ocorrem valores mais altos de  $D_s$ , ocorrem também valores mais altos de  $RP_{-10kPa}$  e os menores valores de  $K_{sat}$ . Pode-se observar que os solos cultivados com pastagem apresentaram maiores valores de  $D_s$  atribuídos às constantes pressões aplicadas pelo pastejo de bovinos e, conseqüentemente, maiores valores de RP e menores valores de condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ).

**TABELA 3.** Densidade do solo ( $D_s$ ), condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) e resistência à penetração na tensão de -10 kPa ( $RP_{-10kPa}$ ) da camada superficial de solos cultivados com café e pastagem da microbacia do ribeirão Capituvas, APA Coqueiral.

Uso	$D_s$ g cm <sup>-3</sup>	$K_{sat}$ mm h <sup>-1</sup>	$RP_{-10kPa}$ MPa
Latossolo Vermelho Distrófico típico – LVd			
Café	1,37a	117,97a	2,06a
Pastagem	1,50b	23,06b	3,03b
Argissolo Vermelho Eutrófico típico – PVe			
Café	1,44a	31,33a	1,84a
Pastagem	1,44a	15,86a	2,54b
Cambissolo Háptico Distrófico típico – CXbd			
Café	1,32a	120,18a	2,27a
Pastagem	1,46b	27,52b	2,70a

Médias seguidas de letras iguais, comparando os usos dentro de cada solo, na coluna, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott Knott.

Busscher (1990) e Imhoff et al. (2000) observaram que a umidade e a  $D_s$  apresentavam relação com a RP do solo. Entretanto, neste estudo, a  $D_s$  não apresentou correlação significativa ( $D_s \times RP_{-10kPa}$  = correlação de 0,46),

corroborando com Lima et al. (2006), motivo pelo qual este atributo não foi considerado na construção do modelo de RP dos solos.

Constata-se uma correlação positiva e significativa da  $D_s$  com a  $K_{sat}$  de 0,71, apesar do alto coeficiente de variação dos dados de  $K_{sat}$  ( $CV = 86,28\%$ ). Tais resultados são justificados pelo fato de  $K_{sat}$  ser função da distribuição de poros por tamanho, variando diretamente com a quantidade de macroporos (Ferreira & Dias Junior, 2001) que, por sua vez, estão relacionados com a densidade do solo, diminuindo com o aumento da mesma.

De acordo com a classificação da Soil Survey Staff (1993), as classes de condutividade hidráulica são as seguintes:  $>254$ ;  $254-127$ ;  $127-63,5$ ;  $63,5-20$ ;  $20-5$  e  $<5 \text{ mm h}^{-1}$ , correspondentes a rápida; moderada a rápida; moderada; lenta a moderada; lenta e muito lenta, respectivamente. Assim, de maneira geral, os solos cultivados na microbacia apresentaram  $K_{sat}$  de moderada a lenta. O CXbd seguido do LVd, em áreas de cultivo com café, apresentaram a melhor classificação, sendo a  $K_{sat}$  moderada.

A avaliação da qualidade estrutural desses solos, com base em valores de  $K_{sat}$ , corrobora as discussões apresentadas nos parágrafos anteriores. Áreas cultivadas com café e bem manejadas apresentaram maior  $K_{sat}$  e, conseqüentemente, desempenham papel mais importante na manutenção e no fluxo da água nos solos da microbacia, comparadas às áreas cultivadas com pastagem.

#### 4 CONCLUSÕES

Verificou-se correlação significativa, positiva e linear entre a pressão de preconsolidação e a resistência do solo à penetração, podendo a capacidade de suporte de carga ser adequadamente estimada por meio da resistência à penetração para LVd, PVe e CXbd cultivados com café e pastagem na microbacia do ribeirão Capituvas, APA Coqueiral.

Para os usos estudados, o PVe apresentou a maior capacidade de suporte de carga e a maior resistência à penetração, comparado ao LVd e ao CXbd, resultando em baixa qualidade física e no comprometimento das atividades produtivas e da sustentabilidade ambiental desse solo na microbacia do ribeirão Capituvas, APA Coqueiral.

Áreas cultivadas com café e bem manejadas apresentam melhor qualidade física do solo quando comparadas a áreas cultivadas com pastagem, demonstrando significativa importância na manutenção e no fluxo da água nos solos da microbacia do ribeirão Capituvas, APA Coqueiral.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986a. p. 363-375.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K.H. Particle density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2. ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986b. p.377-381.

BRASIL. Ministério da agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. Levantamento de reconhecimento dos solos da região sob influência do reservatório de Furnas: contribuição à carta de solos, + map, scale 1:250,000. **Boletim do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas**, Rio de Janeiro, n. 13, 462 p. 1962.

BUSSCHER, W. J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 33, n. 2, p. 519-524, Mar./Apr. 1990.

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

CAMP, C. R.; GILL, W. R. The effect of drying on soil strength parameters. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 33, n. 5, p. 641-644, Sept./Oct. 1969.

CARPENEDO, V. **Compressibilidade de solos em sistemas de manejo**. 1994. 106 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CULLEY, J. L. B.; LARSON, W. E. Susceptibility to compression of a clay loam Haplaquoll. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 51, n. 3, p. 562-567, May/June 1987.

DIAS JUNIOR, M. S.; GOMES, A. N.; ANDRADE, S. C.; AZEVEDO, M. R. Avaliação da sustentabilidade da estrutura de Argissolos em sistemas florestais. **CERNE**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 103-114, 2002.



DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Technology**, Amsterdam, v. 8, n. 2, p. 139-151, Nov. 1995.

DIAS JUNIOR, M. S. **Compression of three soils under longterm tillage and wheel traffic**. 1994. 114 p. Tese (Doutorado) – Michigan State University, East Lansing.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS-EMATER. **Área de Proteção Ambiental do Município de Coqueiral**. Belo Horizonte: Unidade de Consultoria e Projetos, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Brasília: Sistema de Produção de Informação, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1979. 247 p.

FAQUIN, V.; FERNADES, L. A.; COSTA, E. T. S.; MELO, E. E. C. **Fertilizantes e o meio ambiente**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2007. v. 01. 86 p.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. Lavras: UFLA, 2005. 654 p.

FERREIRA, M. M.; DIAS JÚNIOR, M. S. **Física do Solo**, Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 117 p.

GONTIJO, I.; DIAS JUNIOR, M. S.; OLIVEIRA, M. S.; ARAUJO JÚNIOR, C. F.; PIRES, B. S.; OLIVEIRA, C. A. planejamento amostral da pressão de preconsolidação de um Latossolo Vermelho Distroférico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 1245-1254, 2007.

IMHOFF, S. D. C.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, jul. 2000.

KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 211-218, abr./jun. 1999.

LEBERT, M.; HORN, R. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, n. 2-3, p. 275-286, Feb. 1991.

LIMA, C. L. R.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S. D. C.; LEÃO, T. P. Estimativa da capacidade de suporte de carga do solo a partir da avaliação da resistência à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 217-223, 2006.

LIMA, J. M.; CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D. P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 85-90, jan./abr. 1990.

MICHEL, J.K. **Fundamentals of soil behavior**. New York: J. Wiley, 1976. 422 p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; Brussaard, L. **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: UFLA, 2008. v. 1. 768 p.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Alterações Estruturais e Comportamento Compressivo de um Latossolo Vermelho do Cerrado sob diferentes Sistemas de Manejo por 20 anos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 291-299, fev. 2003.

OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; MELLO, C. R. Dinâmica da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho da Microrregião de Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 265-270, jul./set. 2007.

PENG, X. H.; HORN, R.; ZHANG, B.; ZAHO, Q. G. Mechanisms of soil vulnerability to compaction of homogenized and recompacted Ultisols. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 2, p. 125-137, Apr. 2004.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo – protótipos e teste. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1931-1935, nov./dez. 2006.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G., KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa, MG: SBCS, 2005. 92 p.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; OLIVEIRA, L. F. C.; CASTRO, M. B. Pressão de preconsolidação e intervalo hídrico ótimo como indicadores de alterações estruturais do solo em decorrência das operações de colheita da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, 2008. No prelo.

SIGMA PLOT. **Scientific Graphing Software**: versão 10.0. San Rafael: Hearne Scientific Software, 2006.

SILVA, C. A.; MELO, L. C. A.; RANGEL, O. J. P.; GUIMARÃES, P. T. G. Produtividade do cafeeiro e atributos de fertilidade de latossolo sob influência de adensamento da lavoura e manejo da calagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 1066-1076, set./out. 2004.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SOARES, J. M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho Distrófico típico. I – Estado inicial de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 1, p. 1-8, jan./fev. 2002.

SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, W. G. **Statistical methods**. 8. ed. Ames: State University Press, 1989. 503 p.

SOANE, B. D. The role of organic matter in soil compactability: a review of some practical aspects. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 16, n. 1-2, p. 179-201, Apr. 1990

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington: USDA/SCS, 1993. 437 p. (Handbook, 18).

TAYLOR, D. W. **Fundamentals of soil mechanics**. New York: J. Wiley, 1948. 700 p.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 2, p. 301-309, abr./jun. 1998.

VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 24 p. (Boletim Técnico, 7).

### CAPÍTULO 3

## INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO DE SOLOS CULTIVADOS COM CAFÉ E PASTAGEM EM ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO SUL DE MINAS GERAIS

### RESUMO

LIMA, Vico Mendes Pereira. Intervalo hídrico ótimo de solos cultivados com café e pastagem em área de proteção ambiental do sul de Minas Gerais. In: \_\_\_\_\_, **Qualidade estrutural e intervalo hídrico ótimo de solos cultivados em área de proteção ambiental do sul de Minas Gerais**. 2008. Cap. 3, p. 43-62. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG<sup>5</sup>.

Condições físicas restritivas ao bom desenvolvimento das plantas reduzem a capacidade produtiva dos solos e a sustentabilidade ambiental. Um importante parâmetro para expressar essas restrições é o intervalo hídrico ótimo (IHO), por representar, conjuntamente, atributos físicos do solo que influenciam o desenvolvimento de plantas. Com o objetivo de avaliar o IHO e a porosidade de solos cultivados com café e pastagem na microbacia do ribeirão Capituvas, local representativo da APA Coqueiral, coletaram-se amostras indeformadas no Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd), no Argissolo Vermelho Eutrófico típico (PVe) e no Cambissolo Háplico Distrófico típico (CXbd), nas camadas de 0-5, 20-25 e 40-45 cm. Os poros com diâmetro >145 µm foram os mais afetados pelo manejo. Apesar de não serem verificadas diferenças estatísticas entre os microporos (poros com diâmetro <50 µm, responsáveis pela água potencialmente disponível para as plantas), observaram-se variações no IHO, sendo no LVd>CXbd>PVe. Conclui-se que o IHO é um parâmetro que pode ser utilizado com segurança na quantificação das alterações que ocorrem na disponibilidade de água dos solos submetidos a diferentes usos e manejos.

---

<sup>5</sup> **Orientador:** Geraldo César de Oliveira – DCS/UFLA.

## ABSTRACT

LIMA, Vico Pereira Mendes. Least limiting water range of cultivated soils with coffee and pasture in environmental protection area in southern Minas Gerais. In: \_\_\_\_\_. **Structural quality and least limiting water range of cultivated soils in environmental protection area in southern Minas Gerais**. 2008. Chap. 3, p. 43-62. Dissertation (Master's in Soil Science) - Federal University of Lavras, Lavras, MG.<sup>6</sup>

Physical conditions restrictive for the proper development of plants reduce the productive capacity of soils and environmental sustainability. An important parameter to express these restrictions is the least limiting water range (LLWR), jointly represented by physical attributes of soil that influence the development of plants. To evaluate the LLWR and the porosity of soils cultivated with coffee and pasture in the in the microbasin of Capituvas river, an area representative of the Coqueiral EPA, is undisturbed samples collected in the typical Distrophic Red Latosol (LVd), typical Eutrophic Red Argisol (PVe) and typical Distrophic Haplic Cambisol (CXbd), in layers of 0-5, 20-25 and 40-45 cm. Pores with diameter >145  $\mu\text{m}$  were most affected by management. In spite of no statistical differences having been verified among the micropores (pores <50  $\mu\text{m}$ ), variations occurred in LLWR, being in LVd>CXbd>PVe. As a result of good management, it was concluded that LVd and CXbd cultivated with coffee presented no physical restrictions to plant development, and that LLWR is a parameter that can safely be used in the quantification of alterations that may happen in the availability of water in soils submitted to different uses and different management practices.

---

<sup>6</sup> **Orientador:** Geraldo César de Oliveira – DCS/UFLA.

## 1 INTRODUÇÃO

As pesquisas em áreas de proteção ambiental (APAs) estão sendo desenvolvidas para dar suporte a alternativas tecnológicas que possibilitem o uso racional do solo. Nessas unidades de conservação têm se conseguido importantes resultados relacionados à conservação da diversidade de ambientes, espécies e processos naturais, pela adequação das atividades humanas às características ambientais.

No município de Coqueiral, região sul de Minas Gerais, cerca de 25% do território foi destinado à criação de uma APA, por estar localizado no entorno da represa de Furnas, ser local rico em nascentes e cursos d'água e sustentar, aproximadamente, 400 famílias, que têm suas rendas baseadas principalmente na cafeicultura e na pecuária (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais - Emater, 2002).

O estudo das potencialidades e das limitações físicas dos solos em áreas de proteção ambiental é de grande importância na busca da sustentabilidade de uso e manejo das terras. Condições físicas dos solos que afetam o crescimento das plantas estão diretamente relacionadas à resistência do solo à penetração de raízes, à disponibilidade de água e à aeração, os quais afetam diretamente a produtividade agrícola (Silva et al., 1994) e a sustentabilidade do ambiente.

Neste contexto, o intervalo hídrico ótimo (IHO) vem ganhando notoriedade por aliar num único parâmetro atributos físicos relacionados à qualidade do solo, sendo o indicador que melhor se correlaciona com o crescimento das plantas (Tormena et al., 2007).

A diminuição da amplitude do IHO indica o aumento da exposição das culturas ao estresse físico do solo e a magnitude na qual a condição estrutural do solo restringe o desenvolvimento das plantas (Silva & Kay, 1997). Em solos com avançado grau de compactação, a aeração se torna deficiente, há um

aumento da resistência do solo à penetração de raízes e uma diminuição da água potencialmente disponível para a planta.

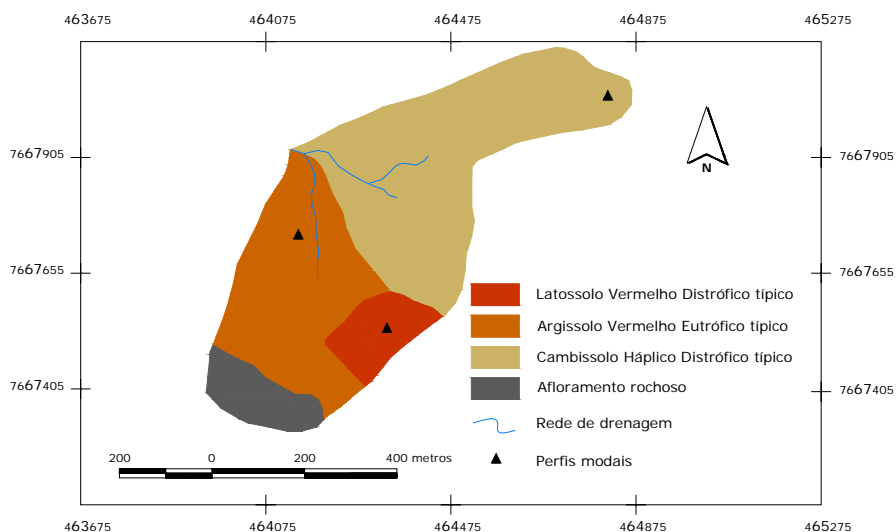
A compactação do solo promove alterações na estrutura, mudando a distribuição de tamanho e a continuidade de poros (Oliveira et al., 2004), e modificando, conseqüentemente, a dinâmica da água no solo. Como resultado, o solo perde sua capacidade produtiva e tem a susceptibilidade à erosão aumentada, podendo desencadear perdas irreversíveis ao ambiente.

Objetivou-se, com a realização deste trabalho, avaliar o intervalo hídrico ótimo e a porosidade de solos cultivados com café e pastagem na microbacia do ribeirão Capituvas, local representativo da APA Coqueiral.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

A pesquisa foi conduzida na microbacia do ribeirão Capituvas, localizada na área de proteção ambiental do município de Coqueiral, MG (APA Coqueiral). O clima local é classificado, segundo Köppen, como Cwa de verão brando e chuvoso, com temperatura moderada. A média de temperatura no inverno e no outono é inferior a 18°C, com mínima inferior a 12°C. A precipitação média anual é de 1.500 mm e a média anual de umidade relativa do ar é de 70% (Emater, 2002).

Na condução deste estudo, selecionou-se a microbacia do ribeirão Capituvas, por ser representativa da APA Coqueiral nos aspectos referentes a usos, relevo e classes de solo. Os solos foram classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, 2006), utilizando-se o Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Santos et al., 2005), para a descrição morfológica de três perfis completos (classificados até o quarto nível categórico) e dezenove perfis complementares. Análises químicas e físicas de laboratório também foram utilizadas na classificação e construção do mapa detalhado de solos (Figura 1).



**FIGURA 1.** Mapa de solos da microbacia do ribeirão Capituvas, APA Coqueiral.

Localizado no sul de Minas Gerais, no município de Coqueiral predominam os solos rasos e originados do intemperismo de rochas graníticas do período pré-cambriano (Brasil, 1962). O relevo da região é predominantemente ondulado, formado por superfícies com pedofoma variando de côncava a convexa, nos topos de morros e nos fundos dos vales, respectivamente. O relevo encontra-se bastante dissecado, sendo a erosão hídrica a principal causa desse fenômeno. A presença de afloramentos rochosos também é marcante na região.

As principais classes de solo existentes nas cabeceiras da microbacia do ribeirão Capituvas, totalizando uma área de 33,8 ha, são Cambissolo Háptico Distrófico típico (CXbd) de textura média, ocupando 51% da área, seguido pelo Argissolo Vermelho Eutrófico típico (PVe) de textura argilosa (33%) e pelo Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd) de textura argilosa (8%). Além desses solos, encontram-se na microbacia Neossolo Litólico e afloramentos rochosos que ocupam 8% da área. A caracterização física e química desses solos encontra-se na Tabela 1.



Dentro da microbacia, a pesquisa foi conduzida no LVd, PVe e CXbd, cultivados com café e pastagem e pertencentes a distintos agricultores que adotam manejos diferenciados. Estes usos representam, respectivamente, 8% e 84% da cobertura vegetal da microbacia (vide Anexo, Figura 1B). Estas culturas foram escolhidas por serem a base da economia da região. Foram coletadas, em cada solo, amostras indeformadas em seis pontos diferentes, três na área cultivada com café e três na área de pastagem. Utilizando-se o amostrador de Uhland, anéis volumétricos de 6,40 cm de diâmetro e 2,50 cm de altura foram coletados nas camadas de 0-5, 20-25 e 40-45 cm de profundidade em cada solo, com seu respectivo uso totalizando 162 amostras (3 solos x 2 usos x 3 camadas x 3 pontos x 3 repetições).

**TABELA 1.** Caracterização física e química dos solos da microbacia do ribeirão Capituvas, APA Coqueiral.

Camada <sup>1</sup> (cm)	Dp <sup>2</sup> g cm <sup>-3</sup>	Granulometria			Ataque sulfúrico			Ki	Kr
		Argila	Silte	Areia	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
-----g kg <sup>-1</sup> -----									
Latossolo Vermelho Distrófico típico – LVd									
0 – 5	2,50	552	115	333	-	-	-	-	-
80 – 100	2,67	589	91	320	188	208	89	1,53	1,20
Argissolo Vermelho Eutrófico típico – PVe									
0 – 5	2,53	264	184	552	-	-	-	-	-
50 – 70	2,70	560	127	313	231	208	101	1,89	1,44
Cambissolo Háptico Distrófico típico – CXbd									
0 – 5	2,60	270	200	530	-	-	-	-	-
25 – 45	2,60	213	271	516	166	147	25	1,92	1,73

<sup>(1)</sup> : Profundidades correspondentes à camada superficial e horizonte B (diagnóstico) dos solos; <sup>(2)</sup> : Densidade de partícula pelo método do balão volumétrico. Ki = relação molecular SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; Kr = relação molecular SiO<sub>2</sub>/(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). A concentração de elementos nos solos estudados foi analisada por meio da digestão de amostras dos solos por H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Vettori, 1969 e Embrapa, 1997); a determinação da densidade de partículas e granulometria foi feita segundo Embrapa (1997).

Os resultados de pH, da matéria orgânica do solo e das determinações do complexo sortivo dos horizontes superficiais e diagnósticos dos três solos estudados são apresentados na Tabela 2.

**TABELA 2.** pH em água, matéria orgânica do solo (MOS) e componentes do complexo sortivo do Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd), Argissolo Vermelho Eutrófico típico (PVe) e Cambissolo Háptico Distrófico típico (CXbd), da microbacia do ribeirão Capituvas, APA Coqueiral.

Camada (cm)	pH	MOS dag kg <sup>-1</sup>	P ---mg dm <sup>-3</sup> ---	K	Ca -----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	Mg	Al	V <sup>1</sup> -----%-----	m <sup>2</sup>
Latossolo Vermelho Distrófico típico – LVd									
0 – 5	4,5	3,1	1,4	41	0,2	0,1	2,0	3,1	83
80 – 100	4,5	1,8	0,6	8	0,5	0,2	1,5	6,8	68
Argissolo Vermelho Eutrófico típico – PVe									
0 – 5	5,7	2,2	1,2	89	2,3	0,9	0,2	46,2	6
50 – 70	5,8	0,6	1,2	33	1,8	0,8	0,2	50,8	7
Cambissolo Háptico Distrófico típico – CXbd									
0 – 5	6,0	2,1	2,8	246	2,1	1,1	0,2	54,5	5
25 – 45	5,4	0,8	0,9	131	0,2	0,1	1,2	15,1	65

1 – saturação por bases (V); 2 – saturação por Al (m).

Para a determinação do intervalo hídrico ótimo (IHO) foi necessário o conhecimento das curvas de retenção de água e da resistência do solo à penetração (RP). A RP foi determinada utilizando-se penetrógrafo eletrônico modelo MA 933, marca Marconi, com velocidade constante de 10 cm min<sup>-1</sup>. Foram realizados quatro testes por amostra, em diferentes conteúdos de água, entre as tensões de -10 a -1.500 kPa. As 162 amostras avaliadas nos quatro pontos totalizaram 648 dados. Após os testes, as amostras foram secas em estufa, a 105°C, por 48 horas, para a determinação da densidade do solo. Os valores de RP, obtidos em kgf cm<sup>-2</sup>, foram multiplicados pelo fator 0,098, para a

transformação em MPa e ajustados a modelos não lineares, em função do conteúdo volumétrico de água ( $\theta$ ), utilizando-se a equação 1 (Dias Junior, 1994) e o software Sigma Plot 10.0 (2006).

$$RP = 10^{(a + b*\theta)} \quad (1)$$

sendo: RP a resistência à penetração (MPa); a e b os parâmetros de ajuste da equação e  $\theta$  o conteúdo volumétrico de água ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ).

O volume total de poros (VTP) foi determinado segundo Vomocil (1965), pela equação 2:

$$VTP = (1 - D_s/D_p) \quad (2)$$

sendo:  $D_s$  a densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) e  $D_p$  a densidade de partícula ( $\text{g cm}^{-3}$ ).

Na determinação da curva de retenção de água (CRA), utilizaram-se seis amostras por camada de solo, três referentes à área cultivada com café e três referentes à área cultivada com pastagem. Considerando-se a profundidade do solo e o uso (3 solos x 2 usos x 3 camadas x 3 repetições), totalizaram-se 54 amostras. As amostras indeformadas foram inicialmente saturadas em bandejas até 2/3 da altura e submetidas às tensões de -2, -4, -6 e -10 kPa na coluna de sucção (Reichert & Reinert, 2006) e as amostras deformadas, obtidas das sobras das porções superiores e inferiores de cada anel, foram também saturadas e submetidas às tensões de -33, -100, -500 e -1.500 kPa, nos aparelhos extratores de Richards (Embrapa, 1997).

A CRA foi obtida ajustando-se o conteúdo volumétrico de água ( $\theta$ ) em função da tensão da água no solo ( $h$ ), utilizando procedimento de van Genuchten (1980), com o uso do software SWRC (Dourado Neto et al., 2000), conforme equação 3:

$$\theta = (\theta_{\text{sat}} - \theta_{\text{res}}) [1 + (\alpha h)^n]^{-m} + \theta_{\text{res}} \quad (3)$$

sendo:  $h$  a tensão da água no solo (kPa);  $\theta$  o conteúdo de água ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ );  $\theta_{\text{sat}}$  o conteúdo de água na saturação ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ );  $\theta_{\text{res}}$  o conteúdo de água no ponto de murcha permanente ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ );  $m$ ,  $n$  e  $\alpha$  são parâmetros de ajuste do modelo.

O ponto de inflexão da curva característica de água no solo foi determinado pela derivada segunda da equação 3 e o valor obtido considerado como sendo a capacidade de campo do solo (Ferreira, 1983; Mello et al., 2002). Assim, a tensão da água no solo no ponto de inflexão foi determinada pela equação 4 (Dexter, 2004):

$$h = 1/\alpha [1/m]^{1/n} \quad (4)$$

sendo:  $h$  a tensão da água no solo no ponto de inflexão (kPa) e  $m$ ,  $n$  e  $\alpha$  são parâmetros de ajuste do modelo.

Na determinação dos limites superiores do IHO, considerou-se o conteúdo de água no solo na capacidade de campo ( $\theta_{\text{CC}}$ ) ou aquele em que a porosidade de aeração ( $\theta_{\text{PA}}$ ) é considerada adequada ao desenvolvimento da cultura. Os limites inferiores foram considerados como o conteúdo de água no solo correspondente ao ponto de murcha permanente ( $\theta_{\text{PMP}}$ ) ou aquele correspondente à resistência à penetração limitante ao desenvolvimento das plantas, segundo critérios propostos por Silva et al. (1994).

Para a obtenção da  $\theta_{\text{CC}}$ , substituiu-se o valor do potencial de água no ponto de inflexão na equação 3 (Ferreira, 1983; Mello et al., 2002; Magalhães, 2008), enquanto  $\theta_{\text{PA}}$  correspondeu ao conteúdo de água no solo em que a porosidade de aeração foi de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  ( $\theta_{\text{PA}} = \text{VTP} - 0,1$ ) (Silva et al., 2001). O

$\theta_{PMP}$  foi obtido substituindo-se a tensão correspondente a -1.500 kPa na equação 3 e o  $\theta_{RP}$  foi obtido substituindo-se o valor da RP por 2,5 MPa (Camargo & Alleoni, 1997) nos modelos determinados de RP em função de  $\theta$ .

A IHO foi determinado pela diferença entre os conteúdos volumétricos de água na capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ) ou porosidade de aeração ( $\theta_{PA}$ ) e no ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ) ou conteúdo de água na resistência à penetração de 2,5 MPa, avaliando-se quais parâmetros foram mais restritivos.

Para a quantificação de poros por tamanho, baseou-se na expressão matemática utilizada por Bouma (1991):

$$D = 4\sigma \text{ Cos } \theta/h \quad (5)$$

sendo D o diâmetro do poro ( $\mu\text{m}$ );  $\sigma$  a tensão superficial da água (0,727 bar  $\mu\text{m}$  a 20°C);  $\theta$  o ângulo de contato entre o menisco e a parede do tubo capilar (considerado como zero) e h a tensão da água no solo (kPa). Seguindo sugestões de Santos (1997), o diâmetro do poro foi relacionado às tensões de -2, -4, -6, -33 e -100 kPa, aplicadas às amostras.

Os resultados das análises foram submetidos à análise exploratória dos dados, para a obtenção da distribuição e das medidas de dispersão. Nos tratamentos em que foi verificada a normalidade dos erros, os dados foram submetidos à análise de variância e a comparação das médias feita pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, utilizando-se do programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2005).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 estão apresentadas as distribuições de poros por tamanho e o volume total de poros (VTP) para cada solo e uso estudados. A distribuição de poros por tamanho permitiu identificar onde ocorrem alterações na estrutura promovidas pelo uso e manejo (Olivera et al., 2004).

Ocorreram diferenças significativas entre o volume de poros com diâmetro  $>145 \mu\text{m}$  nas camadas superficiais do LVd e CXbd cultivados com pastagem, quando comparadas às áreas cultivadas com café, mostrando que esta foi a principal classe de poros afetada quando tensões são aplicadas no solo pelo pisoteio de animais. No PVe, não foram encontradas diferenças significativas na classe de poros com diâmetro  $>145 \mu\text{m}$ , tanto quando cultivado com café ou com pastagem.

Os poros com diâmetro  $>50 \mu\text{m}$  (macroporos) (Oliveira, 1968) estão na faixa de tensão em que a condutividade é alta, em especial os poros com diâmetro  $>145 \mu\text{m}$ . Parte considerável da água nesses poros drena em pouco tempo (Oliveira et al., 2004). Assim, a presença de um maior volume de poros com diâmetro  $>145 \mu\text{m}$  é de grande importância no LVd, que são solos profundos (vide descrição morfológica, Anexo), desempenhando papel essencial na drenagem interna de água, abastecendo o lençol freático e contribuindo para a manutenção de água nas nascentes no período da seca.

**TABELA 3.** Distribuição de poros ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) por tamanho nas camadas (0-5, 20-25 e 40-45 cm) dos solos cultivados com café e pastagem, da microbacia do ribeirão Capituvás, APA Coqueiral.

Uso	Diâmetro dos poros ( $\mu\text{m}$ )						Volume total de poros
	>145	145 - 73	73 - 50	50 - 9,0	9,0 - 2,9	<2,9	
Latossolo Vermelho Distrófico típico – LVd							
0 – 5							
Café	0,14a	0,06a	0,02b	0,02a	0,01a	0,24a	0,49a
Pastagem	0,06b	0,03b	0,03a	0,03a	0,02a	0,23a	0,40b
20 – 25							
Café	0,16a	0,05a	0,02a	0,02a	0,01a	0,26a	0,52a
Pastagem	0,12a	0,04a	0,03a	0,03a	0,01a	0,25a	0,48a
40 – 45							
Café	0,17a	0,04a	0,02a	0,02a	0,00a	0,26a	0,51a
Pastagem	0,12b	0,02a	0,02a	0,02a	0,00a	0,28a	0,46b
Argissolo Vermelho Eutrófico típico – PVe							
0 – 5							
Café	0,08a	0,03a	0,02a	0,03a	0,02a	0,26a	0,44a
Pastagem	0,09a	0,02a	0,02a	0,02a	0,03a	0,25a	0,43a
20 – 25							
Café	0,14a	0,04a	0,02a	0,02a	0,01a	0,26a	0,49a
Pastagem	0,12a	0,03a	0,02a	0,02a	0,02a	0,24b	0,45b
40 – 45							
Café	0,10a	0,04a	0,02a	0,02a	0,00a	0,28a	0,46a
Pastagem	0,08a	0,04a	0,02a	0,03a	0,01a	0,25a	0,43a
Cambissolo Háptico Distrófico típico – CXbd							
0 – 5							
Café	0,13a	0,04a	0,03a	0,03a	0,01a	0,24a	0,48a
Pastagem	0,08b	0,05a	0,02a	0,02b	0,01a	0,22a	0,40b
20 – 25							
Café	0,14a	0,03a	0,02a	0,02a	0,00a	0,28a	0,49a
Pastagem	0,09a	0,04a	0,02a	0,03a	0,02a	0,23a	0,43b
40 – 45							
Café	0,15a	0,02a	0,02a	0,01a	0,00a	0,28a	0,48a
Pastagem	0,11b	0,04a	0,02a	0,01a	0,01a	0,25a	0,44b

Dentro de cada solo e cada profundidade, médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Os valores de macroporosidade, apesar de verificadas significativas reduções dos poros com diâmetro  $>145 \mu\text{m}$  (Tabela 3), não foram restritivos ao desenvolvimento das culturas como sendo de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  (Baver, 1966; Gupta & Allmaras, 1987). A redução dos poros com diâmetro  $>145 \mu\text{m}$  apresentou reflexo no VTP, ocorrendo, nas áreas cultivadas com café, valores superiores deste parâmetro quando comparados aos das áreas de pastagem.

Neste contexto, a manutenção dos poros  $>145 \mu\text{m}$  no solo em níveis adequados é de fundamental importância no processo de infiltração de água no solo (Hillel, 1998), pois, além de prejudicar o desenvolvimento das plantas, a compactação excessiva do solo poderá potencializar as perdas por erosão (Oliveira et al., 2004) e, conseqüentemente, a sustentabilidade do ambiente.

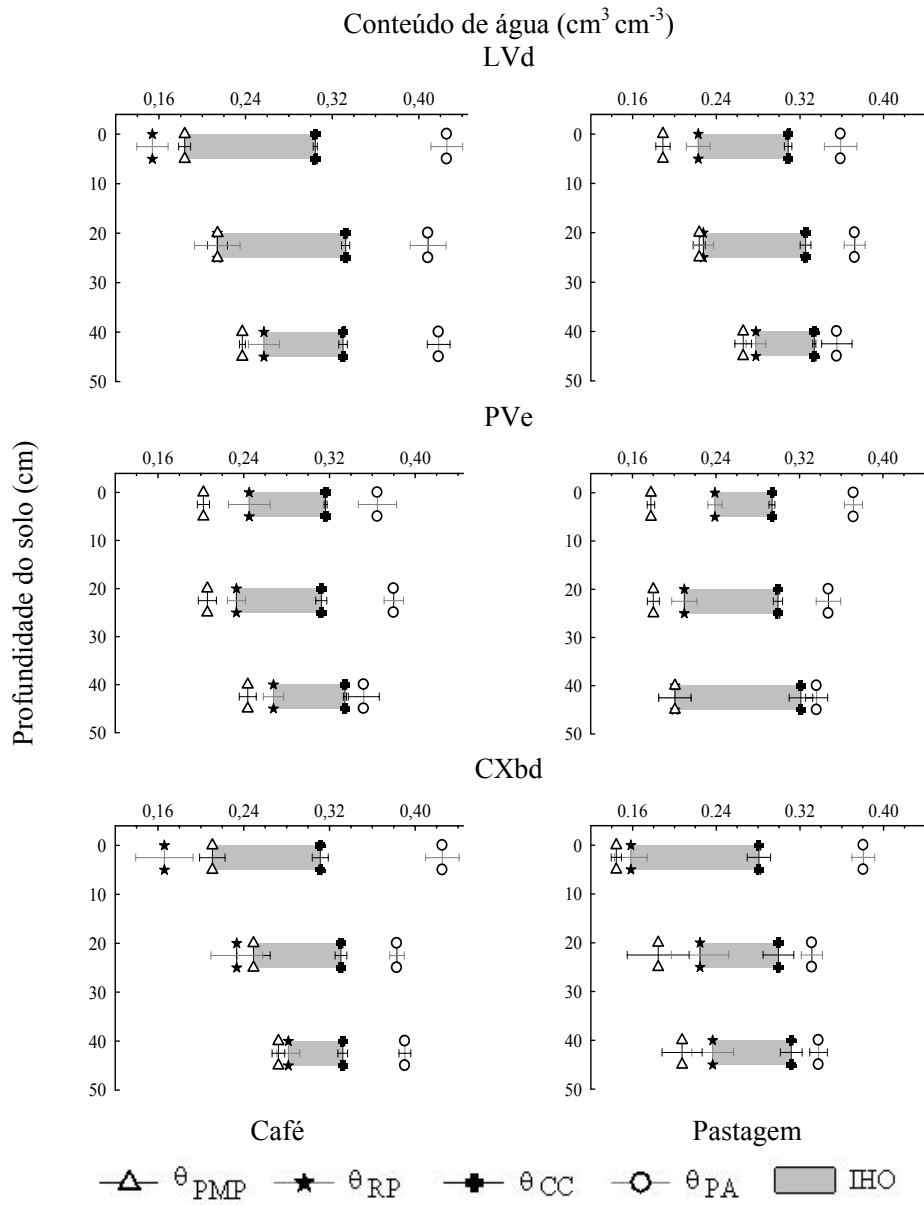
A representação da variação do conteúdo volumétrico de água nos solos nos limites críticos definidos pelo conteúdo de água na capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ), na resistência à penetração de 2,5 MPa ( $\theta_{RP}$ ), na porosidade de aeração de 10% ( $\theta_{PA}$ ) e no ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ) está apresentada na Figura 1. O intervalo hídrico ótimo (IHO), correspondente à área hachurada, dos solos cultivados com café e pastagem na microbacia do ribeirão Capituvas está destacado. Constataram-se variações do IHO entre o LVd, PVe e CXbd, os usos com café e pastagem e as camadas de solo de 0-5, 20-25 e 40-45 cm.

Observou-se que os valores restritivos do IHO no solo variaram (Figura 1), tornando-se necessária uma análise crítica a respeito da alteração nos limites do IHO (Leão et al., 2004; Severiano et al., 2008). Avaliando-se os limites superiores do IHO, observou-se que o conteúdo de água na capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ) representou o limite superior do IHO na maioria das situações estudadas, não tendo a aeração sido limitante ao bom crescimento das plantas. Estes dados corroboram estudo desenvolvido por Tormena et al. (1998) num Latossolo Roxo, em que o conteúdo de água na capacidade de campo representou o limite superior do IHO em 97% das amostras. Verificou-se,



também, (Figura 1) que os valores da  $\theta_{CC}$  apresentaram os menores desvios padrões visualizados a partir das barras de erros, confirmando a precisão da metodologia para a determinação deste parâmetro.

Na avaliação dos limites inferiores do IHO, observou-se que o conteúdo de água no ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ), com exceção do PVe, tem valores crescentes de restrições com a maior profundidade do solo. O conteúdo de água na resistência à penetração de 2,5 MPa ( $\theta_{RP}$ ) apresentou-se como limite inferior do IHO em camadas nas quais foram observadas restrições ao crescimento das raízes, isto é, camadas compactadas ou adensadas (Tormena et al., 1998). Assim, a  $\theta_{RP}$  pode ser um indicativo do grau de compactação ou adensamento da camada do solo, uma vez que ocorre aumento da RP com o aumento da  $D_s$ , fato este atribuído ao efeito da matriz do solo ocasionado pela compactação, aliado ao aumento da coesão causado pela ação da umidade do solo entre as partículas que ficam mais próximas à medida que o solo é compactado ou adensado (Sojka et al., 2001).



**FIGURA 1.** Intervalo hídrico ótimo (IHO) de três camadas do Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd), Argissolo Vermelho Eutrófico típico (PVe) e Cambissolo Háplico Distrófico típico (CXbd), cultivados com café e pastagem, na microbacia do ribeirão Capitivas, APA Coqueiral.

Na camada de 0-5 cm do LVd e PVe, ambos sob pastagem, observaram-se menores valores de IHO. Nestes casos, a resistência à penetração, denotada pela  $\theta_{RP}$  (Figura 1), foi o parâmetro que representou o limite inferior do IHO. Devido à proximidade de  $\theta_{RP}$  e  $\theta_{PMP}$ , salienta-se que o resultado no LVd se deve mais à baixa capacidade de retenção de água nesta classe de solo, o que é função do elevado grau de intemperismo, indicado pelos baixos valores de  $K_i$  e  $K_r$  (Tabela 1). No PVe, entretanto, a limitação foi atribuída à elevada resistência do solo à penetração. Este resultado é justificado pelo estado de degradação em que se encontra a pastagem e o solo, devido ao péssimo manejo, constatado pela falta de cobertura vegetal em muitos pontos e pela presença marcante de erosão do tipo laminar (vide descrição morfológica, Anexo).

No PVe cultivado com café e pastagem e LVd cultivado com pastagem, verificou-se redução da qualidade estrutural quantificada pela substituição do  $\theta_{PMP}$  pelo  $\theta_{RP}$ , como limite inferior do IHO, na camada de 0-5 cm destes solos. Essa redução da qualidade estrutural diminui a quantidade de água potencialmente disponível, sendo os efeitos observados até em camadas mais profundas no caso do PVe sob café.

Não foram verificadas diferenças estatísticas entre os poros com diâmetro  $<50 \mu\text{m}$ , microporos responsáveis pelo armazenamento de água no solo potencialmente disponível para as plantas (Oliveira et al., 2004). Porém, o IHO variou bastante, sendo, em média: LVd  $>$  CXbd  $>$  PVe (Figura 1). O cálculo do armazenamento de água até a profundidade de 60 cm, utilizando o IHO médio das três camadas para a área cultivada com café e pastagem apresenta, respectivamente, os seguintes valores: 58 e 46 mm para o LVd; 44 e 52 mm para o CXbd e 40 e 48 mm para o PVe.

Observando-se a Figura 1, sugere-se que um bom manejo vem sendo dado ao LVd e CXbd sob cafezal, tendo em vista, com base nos parâmetros analisados, ausência de limitação física ao bom desenvolvimento do sistema

radicular da cultura, sendo a  $\theta_{PMP}$  o limite inferior e a  $\theta_{CC}$  o limite superior do IHO. Isto demonstra a possibilidade de convivência do homem em áreas destinadas à preservação ambiental, desde que boas práticas de uso e manejo do solo sejam adotadas.

No PVe, observou-se que a pastagem apresentou maior IHO na profundidade de 40-45 cm, em comparação com a camada superficial e todas as profundidades analisadas na área sob cafezal (Figura 1). Como já salientado, esse fato foi atribuído à compactação do solo promovida pelo pisoteio de animais na camada superficial dos solos em área sob pastagem, existindo indicações de que os animais podem exercer pressões no solo superiores, inclusive, a de tratores de médio porte (Betteridge et al., 1999), reduzindo o espaço poroso para armazenamento da água. Para este mesmo solo, o maior valor em profundidade é atribuído à preservação da estrutura. Na área sob café no PVe, que também se encontra degradada, é provável que o manejo inadequado do solo tenha afetado mesmo a camada de 40-45 cm.

Nos solos cultivados com café, de modo geral, apresentou-se maior conteúdo de água potencialmente disponível na superfície, o qual diminui com a profundidade do solo (Figura 1). A análise do IHO é importante por representar as restrições que os solos têm ao bom desenvolvimento das plantas (Silva et al., 1994). Assim, solos com alta capacidade de armazenamento de água, sem restrições à penetração de raízes e com aeração suficiente, são essenciais na manutenção da capacidade produtiva e sustentabilidade ambiental.

#### 4 CONCLUSÕES

O intervalo hídrico ótimo é um parâmetro que pode ser utilizado com segurança na quantificação das alterações que ocorrem na disponibilidade de água dos solos submetidos a diferentes usos e manejos.

A substituição do  $\theta_{PMP}$  pelo  $\theta_{RP}$  como limite inferior do intervalo hídrico ótimo resultou em menor disponibilidade de água para as plantas.

Os poros com diâmetro superiores a 145  $\mu\text{m}$  foram os mais afetados pelo uso e manejo do solo, na microbacia do ribeirão Capituvas, APA Coqueiral.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAVER, L. D. **Soil physics**. 3. ed. New York: J. Wiley, 1966. 489 p.
- BETTERIDGE, K.; MACKAY, A. D.; SHEPHERD, T. G.; BARKER, D. J.; BUDDING, P. J.; DEVANTIER, B. P.; COSTALL, D. A. Effect of cattle and sheep treading on surface configuration of a sedimentary hill soil. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 37, n. 4, p. 743-760, 1999.
- BOUMA, J. Influence of soil macroporosity on environmental quality. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 46, p. 1-37, 1991.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. Levantamento de reconhecimento dos solos da região sob influência do reservatório de Furnas: contribuição à carta de solos, + map, scale 1:250,000. **Boletim do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas**, Rio de Janeiro, n. 13, 462 p. 1962.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas**. Piracicaba: ESALqi, 1997. 132p.
- DEXTER A. R. Soil physical quality: part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**. Amsterdam, v. 120, n. 3-4, p. 201-214, June 2004.
- DIAS JUNIOR, M. S. **Compression of three soils under longterm tillage and wheel traffic**. 1994. 114 p. Tese (Doutorado) – Michigan State University, East Lansing.
- DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.0). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1. p. 191-192, 2000.
- EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS-EMATER. **Área de Proteção Ambiental do Município de Coqueiral**. Belo Horizonte: Unidade de Consultoria e Projetos, 2002.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.

ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, Brasília, Sistema de Produção de Informação, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. Lavras: UFLA, 2005. 654 p.

FERREIRA, M.M.; MARCOS, Z. Z. Estimativa da capacidade de campo de Latossolo Roxo Distrófico e Regossolo através do ponto de inflexão da curva característica de umidade. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 96-101, jan./jun. 1983.

GUPTA, S. C.; ALLMARAS, R. R. Models to asses the susceptibility of soils to excessive compaction. **Advances Soil Science**, New York, v. 6, p. 65-100, 1987.

HILLEL, D. **Environmental Soil Physics**. New York: Academic, 1998. p. 33-269/270.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S. D. C.; EUCLIDES, V. P. B. Intervalo Hídrico Ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 415-422, maio/jun. 2004.

MAGALHÃES, C. A. S. **Estudo físico-hídrico em lisímetros e comparação de elementos climáticos na região de Lavras - MG**. 2008. 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MELLO, C. R.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S. Estimativa da capacidade de campo baseada no ponto de inflexão da curva característica gerada por regressão polinomial cúbica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 4, p. 836-841, out./dez. 2002.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; CURI, N.; RESCK, D. V. S. Caracterização Química e Físico-Hídrica de um Latossolo Vermelho após 20 anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 02, p. 335-344, mar./abr. 2004.

OLIVEIRA, L. B. de. Determinação da macro e microporosidade pela mesa de tensão em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 3, p. 197-200, 1968.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo – protótipos e teste. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1931-1935, nov./dez. 2006.

SANTOS, M. N. **Influência de diferentes sistemas de manejo nos teores de carbono orgânico e nutrientes e no tamanho e distribuição de poros em um Latossolo Vermelho Escuro Argiloso na Região dos Cerrados**. 1997. 133 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, DF..

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J.C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa, MG: SBCS, 2005. 92 p.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; OLIVEIRA, L. F. C.; CASTRO, M. B. Pressão de preconsolidação e intervalo hídrico ótimo como indicadores de alterações estruturais do solo em decorrência das operações de colheita da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.4, 2008. No prelo.

SIGMA PLOT. **Scientific Graphing Software**: versão 10.0. San Rafael: Hearne Scientific Software, 2006.

SILVA, A. P.; KAY, B. D. Estimating The Least Limiting Water Range Of Soils From Properties And Management. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, n. 3, p. 877-883, May/June 1997.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization Of The Least Limiting Water Range Of Soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 6, p. 1775-1781, Nov./Dec. 1994.

SILVA, A. P.; NADLER, A.; KAY, B. D. Factors contributing to temporal stability in spatial patterns of water content in the tillage zone. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 58, n. 3-4, p. 207-218, Mar. 2001.

SOJKA, R. E.; BUSSCHER, W. J.; LEHRSCHE, G. A. In situ strength, bulk density, and water content relations of a durinodic xeric haplocalcid soil. **Soil Science**, Baltimore, v. 166, n. 8, p. 520-529, Aug. 2001.

TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J. M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférrico em



sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p. 211-219, abr./jun. 2007.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, p. 301-309, 1998.

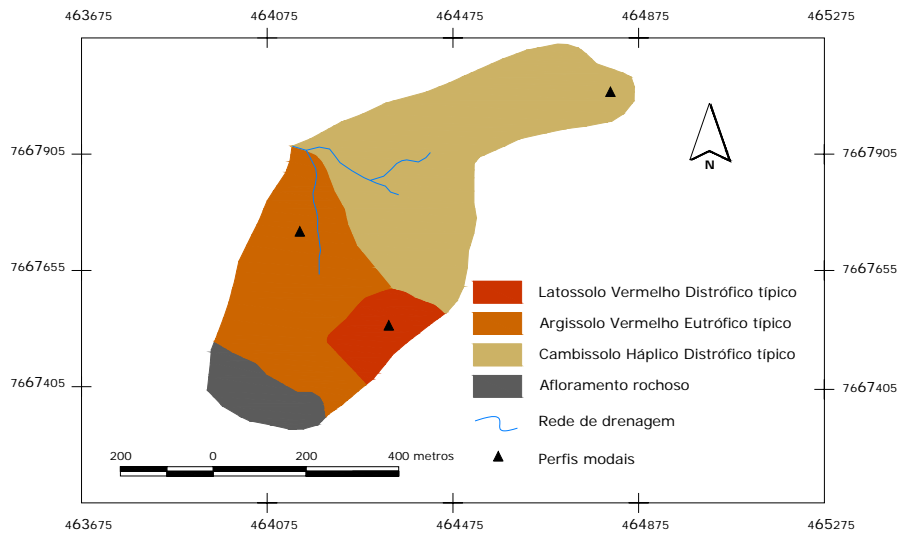
VAN GENUCHTEN, M. T. H. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 24 p. (Boletim Técnico, 7)

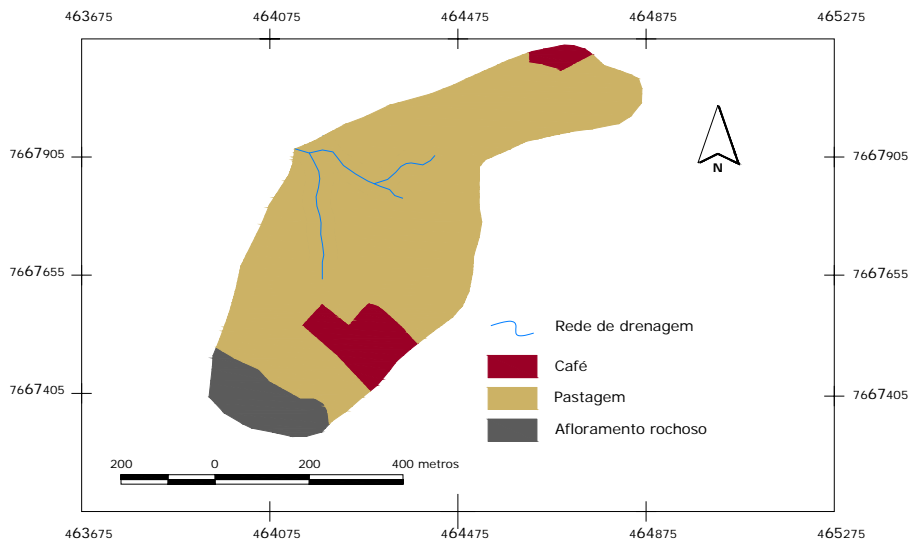
VOMOCIL, J. A. Porosity. In: BLAKE, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965.

## ANEXOS

<b>Figura 1A.</b> Mapa de solos da microbacia do ribeirão Capituvas, APA Coqueiral.....	64
<b>Figura 1B.</b> Mapa de uso atual dos solos da microbacia do ribeirão Capituvas, APA Coqueiral.....	64
<b>Tabela 1A.</b> Tipos e distribuição dos solos da microbacia do ribeirão Capituvas, APA Coqueiral.....	65
<b>DESCRIÇÃO DO PERFIL 1 - Cambissolo</b> .....	66
A - Descrição geral .....	66
B - Descrição morfológica.....	67
C - Análises físicas e químicas .....	68
<b>DESCRIÇÃO DO PERFIL 2 - Latossolo</b> .....	69
A - Descrição geral .....	69
B - Descrição morfológica.....	70
C - Análises físicas e químicas .....	71
<b>DESCRIÇÃO DO PERFIL 3 - Argissolo</b> .....	72
A - Descrição geral .....	72
B - Descrição morfológica.....	73
C - Análises físicas e químicas .....	74



**FIGURA 1A.** Mapa de solos da microbacia do ribeirão Capituvas, APA Coqueiral.



**Figura 1B.** Mapa de uso atual dos solos da microbacia do ribeirão Capituvas, APA Coqueiral.

**Tabela 1A.** Tipos e distribuição dos solos da microbacia do ribeirão Capitivas, APA Coqueiral.

Classe de solos	Área (ha)	Percentagem (%)
Cambissolo Háptico Distrófico típico	17,34	51
Argissolo Vermelho Eutrófico típico	11,13	33
Latossolo Vermelho Distrófico típico	2,70	8
Afloramento rochoso	2,59	8
Total	33,76	100

## DESCRIÇÃO DO PERFIL 1 - Cambissolo

### A - Descrição geral

Perfil: 1

Data: 25/08/2007

Classificação SiBCS: Cambissolo Háptico Distrófico típico, Tb A moderado, textura franco/argilo/arenosa, fase floresta estacional semidecidual montana, relevo ondulado.

Unidade de mapeamento: CXbd

Localização, município, estado e coordenadas: microbacia do ribeirão Capituvas, município de Coqueiral MG. Coordenadas geográficas: 23K 0464804;7668029. Altitude: 987m

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: terço superior da encosta (TSE) (barranco) com 15% de declividade.

Formação geológica: embasamento granito/gnaiss do pré-cambriano indiviso

Período: pré-cambriano

Pedregosidade: não pedregosa

Material originário: Produto da decomposição de rochas granito/gnaiss

Relevo local: ondulado

Relevo regional: ondulado-montanhoso

Erosão: não aparente a montante e laminar severa a jusante

Drenagem: bem drenado

Vegetação primária: Floresta estacional semidecidual montana

Uso atual: pastagem

Clima: Cwa – clima temperado úmido com inverno seco e verão temperado

Pedoforma: convexo/côncavo

Descrito e coletado por: Geraldo César de Oliveira, Ciro Augusto de Souza Magalhães e Vico Mendes Pereira Lima.

## **B - Descrição morfológica**

- A 0-10 cm; bruno-amarelo-escuro (10YR 3/4 úmido) e bruno (10YR 5/3 seca); textura média; blocos angulares e subangulares, médio/grande, moderado; macia, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição ondulada.
- AB 10-15/10-25cm; bruno-forte (7,5YR 5/8 úmido) e amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6 seca); transição ondulada.
- Bi 15-38/25-45 cm; vermelho-amarelado (5YR 5/8 úmido) e amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6 seco); textura média; blocos angulares e subangulares, médio/grande, fraca; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição ondulada.
- BC 38-90/45-90 cm; vermelho-claro (2,5YR 6/8 úmido) e amarelo-avermelhado (5YR 7/8 seco); transição ondulada.
- C 90-135 + (tradagem até 161 cm); vermelho-amarelado (5YR 5/8 úmido) e amarelo-avermelhado (5YR 7/8); adensada.

Raízes:

Observações:

- topo da paisagem no leste da área;
- horizonte C: (+) a partir de 135 cm foi feita uma tradagem até alcançar a rocha, a 161cm;
- ausência de gradiente textural entre os horizontes A e B pelo tato;
- grau de transição: entre os horizontes A e B clara;
- cor variegada do horizonte C.

### C – Análises físicas e químicas

**TABELA 2A.** Granulometria, argila dispersa em água (ADA), índice de floculação (IF), densidade de partícula (Dp) e densidade do solo (Ds) do Cambissolo Háplico Distrófico típico, APA Coqueiral.

Horiz.	Prof. cm	Areia	Silte	Argila	AMG	AG	AM	AF	AMF	ADA	IF	Dp	Ds
		-----g kg <sup>-1</sup> -----									%	kg dm <sup>-3</sup>	
A	0-10	530	200	270	82	127	93	163	60	76	71	2,60	1,40
AB	-20	522	219	259	120	122	87	135	60	107	58	2,44	-
Bi	-45	515	271	213	116	149	79	111	53	111	46	2,60	1,51
BC	-90	563	300	137	118	173	98	113	57	76	42	2,47	-
C	-161	601	302	96	154	196	93	103	49	45	50	2,56	1,43

**TABELA 3A.** pH, matéria orgânica (MO) e componentes do complexo sortivo do Cambissolo Háplico Distrófico típico, APA Coqueiral.

Horiz.	pH	MO <sup>1</sup>	P	K	Ca	Mg	Al	V <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	Zn	Fê	Mn	Cu	B
		dag.kg	mg.dm <sup>-3</sup>	--cmol.c.dm <sup>-3</sup> --			----%----	-----mg dm <sup>-3</sup> -----						
A	6,0	2,1	2,8	246	2,1	1,1	0,2	54,5	5	0,8	324,2	6,1	0,4	0,1
AB	5,6	1,0	1,2	203	0,6	0,5	0,9	28,8	36	0,3	305,1	1,9	0,2	0,3
Bi	5,4	0,8	0,9	131	0,2	0,1	1,2	15,1	65	0,3	211,8	2,0	0,1	0,3
BC	5,1	0,3	0,6	22	0,2	0,1	1,5	11	81	0,1	57,5	0,6	0,1	0,1
C	5,2	0,2	0,6	16	0,4	0,1	1,5	15,7	74	0,3	46,8	1,3	0,1	0,1

1 - matéria orgânica (MO); 2 - saturação por bases (V); 3 - saturação por Al<sup>3+</sup> (m)

**TABELA 4A.** Ataque sulfúrico do Cambissolo Háplico Distrófico típico, APA Coqueiral.

Horiz.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ki	Kr	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	-----%-----							
A	15,38	13,4	2,32	0,548	0,017	1,95	1,76	9,05
Bi	16,58	14,68	2,52	0,521	0,011	1,92	1,73	9,13
BC	16,87	14,9	2,12	0,493	0,008	1,92	1,76	11,06

**TABELA 5A.** Valores de umidade volumétrica (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) nas diversas tensões (- kPa) do Cambissolo Háplico Distrófico típico, APA Coqueiral.

Horiz.	0	2	4	6	8	10	33	100	500	1500
A	0,462	0,398	0,385	0,347	0,343	0,338	0,307	0,259	0,200	0,173
Bi	0,419	0,393	0,384	0,362	0,359	0,357	0,337	0,289	0,191	0,160
C	0,441	0,390	0,372	0,353	0,344	0,328	0,319	0,249	0,112	0,091

## DESCRIÇÃO DO PERFIL 2 - Latossolo

### A - Descrição geral

Perfil: 2

Data: 25/08/2007

Classificação SiBCS: Latossolo Vermelho Distrófico típico, Tb, A moderado, textura argilosa, fase floresta estacional semidecidual montana, relevo ondulado.

Unidade de mapeamento: LVd

Localização, município, estado e coordenadas: microbacia do ribeirão Capituvas, município de Coqueiral, MG. Coordenadas geográficas: 23K 0464326;7667467. Altitude: 956m

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: terço superior da encosta (TSE) 10% de declividade.

Formação geológica: embasamento granito/gnaiss do pré-cambriano indiviso

Período: pré-cambriano

Material originário: produto da decomposição de rochas granito/gnaiss

Pedregosidade: ausente

Relevo local: ondulado

Relevo regional: ondulado-montanhoso

Erosão: presente dentro do cafezal (laminar e presença de sulcos) Obs: A disposição das plantas no cafezal não está nível

Drenagem: fortemente drenado

Vegetação primária: Floresta estacional semidecidual montana

Uso atual: cafeicultura

Clima: Cwa – clima temperado úmido com inverno seco e verão temperado

Pedoforma: Convexo/Côncavo

Descrito e coletado por: Geraldo César de Oliveira, Ciro Augusto de Souza Magalhães e Vico Mendes Pereira Lima



## **B - Descrição morfológica**

- A 0-22 cm; bruno-forte (7,5YR 4/6 seca) e bruno-escuro (7,5YR 3/4 úmido); textura argilosa; blocos subangulares, tamanho médio, moderado; ligeiramente dura, firme, muito plástica, pegajosa.
- AB 22-33 cm; bruno-avermelhado (5YR4/4 úmido) e vermelho-amarelado (5YR4/6 seca); textura argilosa; blocos angulares e subangulares, tamanho médio, moderado; ligeiramente dura, firme, muito plástica, pegajosa.
- BA 33-81 cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6 úmido) e vermelho-amarelo (5YR 4/6 seco); textura argilosa; granular em grumos, forte, pequena; ligeiramente dura, friável, muito plástica, pegajosa.
- Bw1 81-133 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4 úmido) e vermelho-amarelado (5YR 4/6 seco); textura argilosa; granular em grumos, forte, pequena; ligeiramente dura, muito friável, muito plástica, pegajosa.
- Bw2 133-145 + (tradagem até 240 cm); vermelho-escuro (2,5YR 3/6 úmido) e vermelho (2,5YR 4/6 seco); textura argilosa; granular em grumos, forte, muito pequena; macia, muito friável, muito plástica, pegajosa.

Raízes:

Observações:

- não foi percebida nenhuma mudança com a tradagem, não chegou a rocha.;
- árvore lobeira e arranha-gato ao redor.

### C – Análises físicas e químicas

**TABELA 6A.** Granulometria, argila dispersa em água (ADA), índice de floculação (IF), densidade de partícula (Dp) e densidade do solo (Ds) do Latossolo Vermelho Distrófico típico, APA Coqueiral.

Horiz.	Prof. cm	Areia	Silte	Argila	AMG	AG	AM	AF	AMF	ADA	IF	Dp	Ds
		-----g kg <sup>-1</sup> -----									%	kg dm <sup>-3</sup>	
A	0-22	333	115	552	47	81	76	100	24	41	92	2,50	1,22
AB	-33	305	112	584	41	74	70	94	22	52	91	2,70	-
BA	-81	286	103	611	45	67	59	88	23	94	84	2,60	1,21
Bw1	-133	320	91	589	39	83	74	91	23	79	87	2,67	-
Bw2	-240	294	105	601	37	70	64	92	25	156	74	2,60	1,02

**TABELA 7A.** pH, matéria orgânica (MO) e componentes do complexo sortivo do Latossolo Vermelho Distrófico típico, APA Coqueiral.

Horiz.	pH	MO <sup>1</sup>	P	K	Ca	Mg	Al	V <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	Zn	Fe	Mn	Cu	B
		dag.kg	mg.dm <sup>-3</sup>			--cmolc.dm <sup>-3</sup> --		----%----		-----mg dm <sup>-3</sup> -----				
A	4,5	3,1	1,4	41	0,2	0,1	2,0	3,1	83	0,3	201,0	8,7	2,2	0,1
AB	4,7	1,9	0,9	20	0,3	0,2	1,6	5,9	74	0,2	160,2	3,0	2,0	0,1
BA	4,7	1,5	0,6	6	0,1	0,1	1,3	2,7	86	0,1	82,4	2,3	1,4	0,1
Bw1	4,5	1,8	0,6	8	0,5	0,2	1,5	6,8	68	0,3	98,1	3,3	1,4	0,3
Bw2	4,6	1,0	0,6	3	0,3	0,2	0,9	8,3	64	0,1	51,2	1,6	1,3	0,1

1 - matéria orgânica (MO); 2 - saturação por bases (V); 3 – saturação por Al<sup>3+</sup> (m)

**TABELA 8A.** Ataque sulfúrico do Latossolo Vermelho Distrófico típico.

Horiz.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ki	Kr	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	-----%-----							
A	19,14	20,34	11,45	3,416	0,086	1,6	1,18	2,79
AB	19,44	22,6	9,27	2,692	0,003	1,46	1,16	3,83
BA	20,37	23,87	9,56	2,279	0,057	1,45	1,15	3,92
Bw1	18,75	20,78	8,86	2,22	0,051	1,53	1,2	3,68

**TABELA 9A.** Valores de umidade volumétrica (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) nas diversas tensões (-kPa) do Latossolo Vermelho Distrófico típico, APA Coqueiral

Horiz.	0	2	4	6	8	10	33	100	500	1500
A	0,512	0,472	0,446	0,414	0,409	0,395	0,342	0,308	0,255	0,241
BA	0,535	0,494	0,483	0,453	0,451	0,428	0,345	0,326	0,268	0,255
Bw2	0,608	0,444	0,404	0,355	0,347	0,325	0,307	0,266	0,223	0,214

## DESCRIÇÃO DO PERFIL 3 - Argissolo

### A - Descrição geral

Perfil: 3

Data: 26/08/2007

Classificação SiBCS: Argissolo Vermelho Eutrófico típico, Tb, A proeminente, textura argilosa, fase floresta estacional semidecidual montana, relevo forte ondulado.

Unidade de mapeamento: PVe

Localização, município, estado e coordenadas: Microbacia do ribeirão Capituvas, município de Coqueiral MG. Coordenadas geográficas: 23K 0464163;7667727. Altitude: 898m

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: terço inferior da encosta com 20% de declividade

Formação geológica: embasamento granito/gnaiss do pré-cambriano indiviso

Período: pré-cambriano

Material originário: produto da decomposição de rochas granito/gnaiss

Pedregosidade: ausente

Rochosidade: presente 2-10% ligeiramente rochoso

Relevo local: forte ondulado

Relevo regional: ondulado-montanhoso

Erosão: laminar moderada; presença de sulcos nas trilhas do gado espaçados de 20 metros.

Drenagem: bem drenado

Vegetação primária: Floresta estacional semidecidual montana

Uso atual: pastagem degradada

Clima: Cwa – clima temperado úmido com inverno seco e verão temperado

Pedoforma: convexo/côncavo

Descrito e coletado por: Geraldo César de Oliveira, Ciro Augusto de Souza Magalhães e Vico Mendes Pereira Lima.

## **B - Descrição morfológica**

- A 0-30 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4 úmido) e vermelho-amarelado (5YR 5/6 seco); textura média; blocos angulares e sub angulares, pequena/média; duro, friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso.
- AB 30-50 cm; vermelho escuro (2,5YR 3/6 úmido) e vermelho-amarelado (5YR 4/6 seco).
- Bt 50-170 + (tradagem até 230 cm); vermelho escuro (10R 3/6 úmido) e vermelho (10R 4/6 seco); textura argilosa; blocos, forte/média, grande; cerosidade moderada e abundante; extremamente dura, firme, plástico, pegajoso.

Raízes: bem distribuídas no horizonte A, muito finas ,comuns e esmagadas no Bt.

Observações:

- cerosidade aparente;
- presença de muitas árvores de Moreira;
- tradagem até 230 cm sem mudanças substanciais.

### C – Análises físicas e químicas

**TABELA 10A.** Granulometria, argila dispersa em água (ADA), índice de floculação (IF), densidade de partícula (Dp) e densidade do solo (Ds) do Argissolo Vermelho Eutrófico típico, APA Coqueiral.

Horiz.	Prof. cm	Areia	Silte	Argila	AMG	AG	AM	AF	AMF	ADA	IF	Dp	Ds
		-----g kg <sup>-1</sup> -----									%	kg dm <sup>-3</sup>	
A	0-30	553	184	264	107	158	109	128	44	56	79	2,53	1,58
AB	-50	514	197	289	99	134	107	128	40	81	72	2,56	-
Bt	-230	314	127	560	88	73	51	75	25	82	85	2,78	1,50

**TABELA 11A.** pH em água, matéria orgânica (MO) e componentes do complexo sortivo do Argissolo Vermelho Eutrófico típico, APA Coqueiral.

Horiz.	pH	MO <sup>1</sup>	P	K	Ca	Mg	Al	V <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	Zn	Fe	Mn	Cu	B
		dag.kg	mg.dm <sup>-3</sup>			----cmolc.dm <sup>-3</sup> ----		----%----			-----mg dm <sup>-3</sup> -----			
A	5,7	2,2	1,2	89	2,3	0,9	0,2	46,2	6	1,0	159,6	43,8	2,7	0,2
AB	5,7	1,3	0,9	72	1,8	0,7	0,3	45,6	10	0,3	136,3	20,2	4,3	0,2
Bt	5,8	0,6	1,2	33	1,8	0,8	0,2	50,8	7	0,2	107,6	6,1	4,1	0,1

1 - matéria orgânica (MO); 2 - saturação por bases (V); 3 – saturação por Al<sup>3+</sup> (m)

**TABELA 12A.** Ataque sulfúrico do Argissolo Vermelho Eutrófico típico, APA Coqueiral.

Horiz.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ki	Kr	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	-----%-----							
A	12,74	10,84	5,47	2,462	0,028	2	1,51	3,11
AB	13,72	12,88	6,06	2,325	0,028	1,81	1,39	3,34
Bt	23,06	20,76	10,08	2,342	0,054	1,89	1,44	3,24

**TABELA 13A.** Valores de umidade volumétrica (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) nas diversas tensões (- kPa) do Argissolo Vermelho Eutrófico típico, APA Coqueiral.

Horiz.	0	2	4	6	8	10	33	100	500	1500
A	0,375	0,373	0,364	0,332	0,329	0,325	0,311	0,252	0,195	0,184
Bt	0,460	0,415	0,406	0,385	0,383	0,378	0,375	0,373	0,315	0,303