

**AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS
INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO
EM RELAÇÃO À RECARGA DE ÁGUA NA
SUB-BACIA DAS POSSES, EXTREMA (MG)**

GABRIELA CAMARGOS LIMA

2010

GABRIELA CAMARGOS LIMA

**AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS INDICADORES DA QUALIDADE DO
SOLO EM RELAÇÃO À RECARGA DE ÁGUA NA SUB-BACIA DAS
POSSES, EXTREMA (MG)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Nilton Curi

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2010

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

Lima, Gabriela Camargos.

Avaliação de atributos indicadores da qualidade do solo em
relação à recarga de água na sub-bacia das posses, Extrema (MG) /
Gabriela Camargos Lima. – Lavras : UFLA, 2010.

101 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: Marx Leandro Naves Silva.

Bibliografia.

1. Índice de cobertura vegetal. 2. Conservação do solo. 3.
Infiltração. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.45

GABRIELA CAMARGOS LIMA

AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO EM RELAÇÃO À RECARGA DE ÁGUA NA SUB-BACIA DAS POSSES, EXTREMA (MG)

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 24 de fevereiro de 2010.

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva	UFLA
Prof. Dr. Mozart Martins Ferreira	UFLA
Prof. Dr. Sérgio Gualberto Martins	UNILAVRAS

Prof. Dr. Nilton Curi
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

Aos meus pais Mônica e Jorge,
meus irmãos Júlia e Rafael,
meu sobrinho Gabriel

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus por iluminar sempre meu caminho. À minha família, em especial ao meu pai Jorge, minha mãe Mônica, meus irmãos Júlia e Rafael, minhas tias Myrianne, Márcia e Marília e vovó Laura pelo incentivo e credibilidade.

Aos primos e grandes amigos Lucas, Marina, Raquel, Bruna, Carol e Camila, pelo companheirismo. À grande amiga de infância que sempre esteve ao meu lado Natália. Às amigas de república Kamila, Lina e Gabi (Tuti), que se tornaram irmãs.

Aos professores Nilton Curi e Marx Leandro Naves Silva pela orientação e apoio. Aos membros da banca Sérgio Gualberto Martins e Mozart Martins Ferreira pelas sugestões.

Aos amigos Mayesse, Anna, Diêgo, Thiago, Cesar, Michele e Carla pela amizade e ajuda neste trabalho.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), Departamento de Ciência do Solo (DCS), pela oportunidade de realização deste curso e a CAPES, pela concessão da bolsa.

À Agência Nacional das Águas (ANA), The Nature Conservation (TNC), Prefeitura Municipal de Extrema (PME), Instituto Estadual de Florestas (IEF) e Agencia de água PCJ, financiadores do Programa Produtor de Água. Ao secretário de meio ambiente da PME Paulo Henrique Pereira,

pelo suporte logístico e possibilitado o acesso ao banco de dados e informações necessárias para realizar o projeto e ao funcionário Benedito Arlindo Cortes da PME pelo auxílio nas coletas de campo.

Aos colegas de pós-graduação, pelo convívio, apoio, amizade e agradável troca de experiência. Ao aluno de iniciação científica Rodrigo pelo auxílio. Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
CAPÍTULO 1.....	01
1 Introdução Geral.....	02
2 Referências Bibliográficas.....	07
CAPÍTULO 2 Avaliação da Cobertura Vegetal da Sub-Bacia das Posses no Município de Extrema (MG).....	08
1 Resumo.....	09
2 Abstract.....	10
3 Introdução.....	11
4 Material e Métodos.....	15
5 Resultados e Discussão.....	21
6 Conclusões.....	25
7 Referências Bibliográficas.....	26
CAPÍTULO 3 Avaliação dos Indicadores Físicos e Químicos da Qualidade do Solo na Sub-bacia das Posses no município de Extrema (MG).....	29
1 Resumo.....	30
2 Abstract.....	31
3 Introdução.....	32
4 Material e Métodos.....	38
5 Resultados e Discussão.....	47
6 Conclusões.....	67
7 Referências Bibliográficas.....	68

CAPÍTULO 4 Características Fisiográficas e Potencialidade de Recarga de Água do Solo na Sub-bacia das Posses em Extrema (MG).....	77
1 Resumo	78
2 Abstract.....	79
3 Introdução	80
4 Material e Métodos	83
5 Resultados e Discussão	91
6 Conclusões.....	98
7 Referências Bibliográficas.....	99

LISTA DE TABELAS

	Página
CAPÍTULO 2	
TABELA 1	Distribuição do relevo da sub-bacia das Posses, Extrema (MG)..... 17
TABELA 2	Distribuição das classes de cobertura vegetal obtidas pelo NDVI na sub-bacia das Posses, Extrema (MG)..... 22
TABELA 3	Distribuição das classes de cobertura vegetal obtidas pelo NDVI na área de entorno da sub-bacia das Posses, Extrema (MG)..... 22
TABELA 4	Classes e índices de cobertura vegetal na sub-bacia das Posses, Extrema (MG)..... 24
CAPÍTULO 3	
TABELA 1	Distribuição do relevo da sub-bacia das Posses, Extrema (MG)..... 39
TABELA 2	Plano experimental adotado no estudo..... 43
TABELA 3	Coefficientes utilizados para realização de cada contraste..... 45
TABELA 4	Valores médios e teste F para os atributos físicos: condutividade hidráulica do solo saturado, diâmetro médio geométrico sem pré-umedecimento, densidade do solo e umidade gravimétrica..... 48
TABELA 5	Valores médios e teste de F para os atributos físicos: volume total de poros, microporos e macroporos..... 49
TABELA 6	Valores de estimativa por contraste, variância e F calculado para os atributos físicos diâmetro médio geométrico sem pré-umedecimento e densidade do solo..... 51
TABELA 7	Valores de estimativa por contraste, variância e F calculado para os atributos físicos volume total de poros e macroporos..... 53

TABELA 8	Valores de estimativa por contraste, variância e F calculado para o atributo físico umidade gravimétrica.....	54
TABELA 9	Valores médios e teste de F para os atributos químicos: fósforo, potássio, cálcio, magnésio e matéria orgânica.....	56
TABELA 10	Valores médios e teste de F para os atributos químicos: alumínio, capacidade de troca catiônica efetiva, capacidade de troca catiônica a pH 7,0 e índice de saturação de bases.....	57
TABELA 11	Valores de Estimativa por contraste, Variância e F calculado para os atributos químicos fósforo, cálcio e magnésio.....	60
TABELA 12	Valores de Estimativa por contraste, Variância e F calculado para os atributos químicos fósforo, cálcio e magnésio.....	63
TABELA 13	Valores de Estimativa por contraste, Variância e F calculado para os atributos químicos capacidade de troca catiônica a pH 7,0 e índice de saturação de bases.....	66
 CAPÍTULO 4		
TABELA 1	Distribuição do relevo da sub-bacia das Posses, Extrema (MG).....	85
TABELA 2	Valores atribuídos aos critérios selecionados para interpretação da potencialidade de recarga de água na sub-bacia estudada (Menezes et al., 2009 adaptado de Araújo, 2006).....	89

TABELA 3	Classes de solos, tipos de horizonte A, profundidade, textura, fases de relevo e potencial de recarga na sub-bacia das Posses, Extrema (MG).....	97
----------	--	----

LISTA DE FIGURAS

		Página
CAPÍTULO 2		
FIGURA 1	Mapa de localização da sub-bacia das Posses, Extrema (MG).....	16
FIGURA 2	Mapa das classes de solos da sub-bacia das Posses, Extrema (MG).....	16
FIGURA 3	Mapa de declividade da sub-bacia das Posses, Extrema (MG).....	17
FIGURA 4	Valores da razão entre as bandas do vermelho e infravermelho próximo Poeking et al. (2007).....	19
FIGURA 5	Mapa de NDVI da área de entorno com os limites da sub-bacia e destaque da sub-bacia das Posses, Extrema (MG).....	23
CAPÍTULO 3		
FIGURA 1	Mapa de localização da sub-bacia das Posses, Extrema (MG).....	39
FIGURA 2	Mapa geológico da sub-bacia das Posses, Extrema (MG)	40
FIGURA 3	Mapa das classes de solos da sub-bacia das Posses, Extrema (MG).....	40
FIGURA 4	Mapa de declividade da sub-bacia das Posses, Extrema (MG).....	41
FIGURA 5	Tratamentos testados.....	44
FIGURA 6	Histograma de contrastes para comparação entre médias.	45
CAPÍTULO 4		
FIGURA 1	Mapa de localização da sub-bacia das Posses, Extrema (MG).....	84
FIGURA 2	Mapa geológico da sub-bacia das Posses, Extrema (MG).....	84
FIGURA 3	Mapa das classes de solos da sub-bacia das Posses, Extrema (MG).....	85
FIGURA 4	Mapa de declividade da sub-bacia das Posses, Extrema (MG).....	86
FIGURA 5	Mapa da rede de drenagem da sub-bacia hidrográfica das Posses, Extrema (MG).....	92
FIGURA 6	Perfil do curso d'água principal.....	93

RESUMO

LIMA, Gabriela Camargos. **Avaliação de atributos indicadores da qualidade do solo em relação à recarga de água na sub-bacia das Posses, Extrema (MG)**. 2010. 101 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.¹

A degradação dos recursos naturais, principalmente vegetação, solo e água, vêm crescendo de forma alarmante, atingindo níveis críticos que refletem no assoreamento dos cursos de água e na deterioração do meio ambiente. O solo e a água são componentes essenciais à vida, sendo focos principais para várias propostas de uso, estudos e base para a caracterização e proteção dos ecossistemas. Este trabalho teve como objetivo avaliar a cobertura vegetal, os atributos físicos e químicos do solo, as características fisiográficas e potencialidade de recarga de água do solo na sub-bacia das Posses localizada no município de Extrema (MG). A predominância por pastagens na sub-bacia, alterando o ambiente natural e o relevo predominantemente ondulado a forte ondulado, são os principais fatores que interferem na potencialidade de recarga do solo da sub-bacia das Posses.

¹ Comitê Orientador: Nilton Curi – UFLA e Marx Leandro Naves Silva – UFLA (Orientadores).

ABSTRACT

LIMA, Gabriela Camargos. **Evaluation of attributes indicators of soil quality in relation to water recharge in the Sub-basin of Posses, Extrema (MG)**. 2010. 101 p. Dissertation (Master Program in Soil Science) – Federal University of Lavras, Lavras, MG.²

Natural resources degradation, mainly water, soil and vegetation, has been growing lately, having reached alarming levels and leading the siltation of the water courses causing environmental deterioration. Water and soil are life's essential components, being the main focuses of several use proposals, studies and base for characterization and protection of ecosystems. The aim of this work was to evaluate the vegetal covering, the physical and chemical attributes of the soil and the physiographic characteristics and potentiality of water recharge at the Sub-basin of Posses located in Extrema (MG). The predominance of pasture in the sub-basin, which changes the natural environment and the mostly undulated to strongly undulated relief, are the main factors that interfere on the potentiality of water recharge at the Sub-basin of Posses.

² Guidance Committee: Nilton Curi – UFLA and Marx Leandro Naves Silva – UFLA (Advisers).

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

O uso do solo no Brasil se intensificou a partir do final do século XVIII com o segundo ciclo da cana-de-açúcar. Quase à mesma época, os cafezais se espalhavam do Rio de Janeiro para o Sul do estado de Minas Gerais, dando início ao ciclo do café. Se, por um lado, no início do século XIX, a cafeicultura foi à base econômica, por outro, dizimou grande parte das florestas de Mata Atlântica e o Cerrado. Atualmente a maior extensão territorial nestes agroecossistemas é ocupada pela pecuária de corte e de leite.

A preocupação com a conservação do solo e da água é muito mais antiga do que o atual debate sobre a sustentabilidade dos agroecossistemas. Porém, nas décadas de 1960 e 1970, no auge da modernização, parece não ter sido dada à devida importância ao tema. Foi só no final da década de 1980, diante das evidências dos problemas sociais, econômicos e ambientais, provocados pela erosão e a crise da falta de água, que o debate reapareceu em círculos mais amplos.

Poucos ecossistemas no Brasil apresentam uma situação de degradação semelhante à que ocorre na extensa formação conhecida como Mata Atlântica. Dentre estas a região Sul do estado de Minas Gerais vem sendo submetida à pressão de fatores físicos e ambientais determinados pela orientação de encostas e histórico de ocupação do solo. A ocupação do solo nesta região tem influenciado diretamente a produção de água. O reflexo desta influência na quantidade e qualidade de água das nascentes, assim como o curso anual de sua vazão, está diretamente relacionado à declividade do terreno, uso e ocupação do solo, além de seus atributos físicos, morfológicos e químicos.

A degradação dos recursos naturais, principalmente vegetação, solo e água, vêm crescendo de forma alarmante, atingindo níveis críticos que refletem

no assoreamento dos cursos e espelhos de água e na deterioração do meio ambiente. A água é um componente essencial à vida, sendo foco principal para várias propostas de uso, estudos e base para a caracterização e proteção dos ecossistemas. Além de servir a diversos usos, a água é indicador de qualidade do manejo da terra pelo homem. O emprego deste recurso para diversas finalidades tem diminuído consideravelmente sua disponibilidade, gerando desafios para se lidar com a escassez em muitas regiões e países.

Estudos sobre o uso e ocupação do solo em áreas de recarga de nascentes são cada vez mais necessários, haja vista que, atualmente, estudos referentes à dinâmica da água em áreas de recarga ainda são bastante escassos. Com estas considerações, ressalta-se a importância de estudos científicos sobre controle ambiental, com aplicação aos estudos de regiões hidrológicas e maior conscientização e envolvimento da sociedade nos desafios referentes à gestão dos recursos hídricos.

Particularmente no caso de nascentes, há notório interesse na preservação e melhoria da qualidade, quantidade e uniformidade na produção de água. O corrente uso e manejo do solo em bacias hidrográficas é a forma mais eficiente de uso dos recursos de uma região, pois visa à preservação e melhoria da quantidade e qualidade da água.

Quando se trata de nascentes, ressalta-se que, além da quantidade, é desejável uma boa distribuição no tempo, ou seja, que a variação de vazão situe se dentro de um mínimo adequado ao longo do ano. Isto quer dizer que a bacia não deve funcionar como um recipiente impermeável, com escoamento em curto espaço de tempo de toda a água recebida durante uma precipitação. A água deve ser absorvida em parte, por infiltração no solo, armazenada no lençol subterrâneo e drenada gradativamente, aos cursos de água, mantendo a vazão e principalmente, durante os períodos de seca, o que é fundamental tanto para o uso econômico como para a manutenção do regime hídrico do corpo de água

principal. Estudos em relação ao uso do solo, regime hídrico de uma sub-bacia e suas implicações foram desenvolvidos na bacia hidrográfica de Cannonsville Reservoir, sendo implantadas práticas de conservação do solo e da água nos sistemas de produção animal e vegetal, visando o abastecimento de água na cidade de New York, USA (Bryant et al. 2008).

As atividades antrópicas em bacias hidrográficas, principalmente nas áreas de recarga das nascentes, contribuem para o rompimento do equilíbrio, proporcionando especialmente, diminuição da quantidade de água. O uso do solo com pastagem extensiva e sem um manejo adequado tem alterado a paisagem na região Sul do estado de Minas Gerais, expondo-o aos agentes erosivos, através das alterações dos atributos morfológicos, físicos e químicos, e dessa maneira, modificando as condições de infiltração, propiciando perda de água e de solo pelo escoamento superficial direto, comprometendo a recarga dos aquíferos e produzindo assoreamento de cursos de água nas partes mais baixas.

O manejo adequado de bacias hidrográficas, notadamente em regiões ambientalmente frágeis, como o Sul de Minas Gerais, é de importância capital para a manutenção do escoamento subterrâneo da mesma, sendo este fundamental na perenização dos cursos de água, cuja existência é função de condições satisfatórias de recarga dos aquíferos superficiais e por conseqüência, produção de água nas nascentes.

Na região Sul do estado de Minas Gerais, grande parte das pastagens apresenta degradação do solo pela compactação e erosão hídrica. Alguns solos (Neossolos Litólicos, Cambissolos e Argissolos) da região encontram-se em avançado estágio de degradação, representado pela ocorrência de erosão laminar e sulco que, embora rasos, são bastante freqüentes. Além da erosão, observa-se, em alguns locais, a redução da vazão de riachos e ribeirões nos períodos de déficit hídrico. Estudos realizados constataram que os solos são utilizados sem considerar a sua capacidade de suporte, apresentam baixa fertilidade, que precisa

ser corrigida, e quando apresentam declives acentuados, devem ser adotadas práticas conservacionistas. Em resumo, há tecnologia disponível e adaptável para a redução das limitações dos solos a patamares aceitáveis, mas o investimento de capital é inviabilizado, em muitos casos, pela situação do produtor rural local, descapitalizado e desestimulado.

Nestas regiões um grande volume de água deixa de infiltrar naturalmente nos solos em decorrência da redução da cobertura vegetal e do uso incorreto do solo. Vários cursos de água estão completamente secos devido a alterações do ciclo hidrológico e do nível do lençol freático. Este déficit, aliado à ampliação das demandas de consumo de água, pode provocar um colapso no abastecimento nos grandes centros, a exemplo do Sistema Cantareira que abastece a região da grande São Paulo. Outro aspecto é que os sedimentos provenientes da erosão podem ser carregados para corpos de água superficiais, provocando o assoreamento de várzeas, de rios, de lagos e reservatórios. Isso diminui a disponibilidade de água para o ecossistema e para o consumo humano.

O Sistema Cantareira é um dos maiores sistemas de abastecimento público do mundo. Com uma área produtora de água de aproximadamente 227.950 hectares, produz 33 mil litros por segundo, dos quais 31 são produzidos na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba e apenas dois são produzidos na Bacia do Alto Tietê, pelo rio Juquery. Dos 31 mil litros por segundo produzidos na Bacia do Piracicaba, 22 vêm dos reservatórios Jaguari-Jacareí, cujas bacias estão inseridas majoritariamente no Estado de Minas Gerais. O sistema contém estruturas hidráulicas de regularização de vazões e de adução de água de grande porte e envolve vazões muito altas por se tratar de um sistema para abastecimento público, construído com o objetivo de garantir o atendimento de parte das demandas para o abastecimento bacias hidrográficas localizadas a jusante das mesmas (Whately & Cunha, 2007).

A área de drenagem do rio Jaguari à montante da represa, dentro do Sistema Cantareira, abrange 10.3243,4 hectares. Suas nascentes estão localizadas no Estado de Minas Gerais, nos municípios de Camanducaia, Extrema, Itapeva e Toledo. No município de Extrema (MG), o rio Jaguari recebe um afluente importante, o rio Camanducaia. Alguns quilômetros abaixo da referida confluência, já dentro do Estado de São Paulo, o rio Jaguari é represado, constituindo um dos reservatórios do Sistema Cantareira. A jusante do reservatório, já fora do Sistema Cantareira, nasce no município de Americana (SP) o rio Piracicaba, pela junção dos rios Jaguari e Atibaia, seguindo depois até o município de Barra Bonita (SP), onde se une ao rio Tietê. Como a bacia do Jaguari abrange quatro municípios mineiros e quinze paulistas, ela é considerada Federal. Nos limites do Sistema Cantareira, a bacia do Rio Jaguari compreende total ou parcialmente os municípios de Camanducaia, Extrema, Itapeva, Sapucaí-Mirim, Joanópolis e Vargem (Whately & Cunha, 2007).

Considerando-se a importância da recuperação das áreas de recarga do Sistema Cantareira, especificamente da sub-bacia das Posses, pertencente à Bacia do Rio Jaguari, o programa Produtor de Água, tem como finalidade a compensação de proprietários rurais pela conservação da água e, juntamente com seus financiadores, vem recuperando áreas destinadas à preservação e nascentes, possibilitando em longo prazo, melhores condições de solo que permitam a infiltração de água para abastecer o lençol freático e manter a perenidade dos rios.

Dessa maneira, o objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos físicos, morfológicos e químicos indicadores da qualidade do solo, a cobertura vegetal, a característica fisiográfica e potencialidade de recarga de água do solo na sub-bacia das Posses, pertencente à bacia hidrográfica do Rio Jaquari, no município de Extrema, MG.

2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRYANT, R. B.; VEITH, T. L.; KLEINMAN, P. J. A.; GBUREK, W. J. Cannonsville reservoir and town brook watersheds: documenting conservation efforts to protect New York City's drinking water. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 63, n. 6, p. 339-344, Nov. 2008.

WHATELY, M.; CUNHA, P. **Cantareira 2006**: um olhar sobre o maior manancial de água da região metropolitana de São Paulo. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2007. 67 p.

CAPÍTULO 2

AVALIAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL DA SUB-BACIA DAS POSSES NO MUNICÍPIO DE EXTREMA (MG)

1 RESUMO

As perdas de solo por erosão hídrica caracterizam-se como principal causa da degradação do solo. A presença da cobertura vegetal contribui para uma menor erosão hídrica. O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) permite identificar a presença de vegetação verde na superfície e caracterizar sua distribuição espacial. Essa informação pode ser muito importante para identificar fenômenos que podem estar ocorrendo em uma determinada área, notadamente os relacionados com os processos de degradação do solo pela erosão hídrica. O objetivo deste trabalho foi utilizar o NDVI para avaliar a cobertura vegetal no tocante à conservação do solo e da água na Sub-bacia hidrográfica das Posses, pertencente ao Sistema Cantareira que se localiza no município de Extrema, MG. Foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT 5 sensor TM. Avaliou-se em campo o índice de cobertura vegetal, a fim de confirmar a atual situação da sub-bacia. A região estudada apresentou grande parte de sua área ocupada por pastagens degradadas, o que compromete a conservação do solo, recarga e qualidade da água. Dentre os resultados obtidos, somente para a classe de vegetação arbórea (área com pequena representatividade na sub-bacia) encontrou-se um índice de cobertura vegetal de alto valor, caracterizando esta área como muito degradada, já que se verificou que 73% da área total da Sub-bacia das Posses é ocupada por pastagem. A caracterização da cobertura vegetal da Sub-bacia das Posses realizada por imagem de satélite foi confirmada com dados obtidos em campo.

2 ABSTRACT

Soil losses by water erosion are the main source of soil degradation. The existence of vegetal covering contributes to the reduction of water erosion. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) makes it possible to identify the presence of green vegetation at the surface and to characterize its spatial distribution. This information is very important to identify phenomenon which might be occurring in a determined area, especially the ones related to soil degradation processes as consequent of water erosion. This work's purpose was to perform the NDVI to evaluate the vegetal cover regarding to soil and water preservation at the Posses's Hydrograph Sub-basin which belongs to the Cantareira System, located in Extrema County, Minas Gerais, Brazil. LANDSAT 5 sensor TM satellite images were used. Vegetal cover indexes were evaluated in the field, aiming to confirm the current situation of the sub-basin. Most part of the area is occupied by degraded pastures, which compromises the soil preservation and water recharge and quality. Among the results obtained, a high vegetal cover index was verified only to arboreal vegetation class (area with small representation in the sub-basin), which characterizes this sub-basin as considerably degraded, since it showed 73% of total area of the sub-basin is occupied by pastures. The characterization of the vegetal cover of the Sub-basin of Posses acquired by satellite image was confirmed with the data obtained in field conditions.

3 INTRODUÇÃO

As perdas de solo causadas pela erosão hídrica, caracterizam-se como principal causa da degradação do solo, principalmente quando associadas ao uso e manejo incorreto do mesmo. Essas perdas podem ocasionar prejuízos ao setor agrícola e ao ambiente por resultarem em acelerada degradação das terras agrícolas, além de promover poluição e assoreamento de cursos de água. Essas perdas de solo podem ser influenciadas quantitativamente pela intensificação do uso e manejo do solo, sendo que as operações agrícolas adotadas sem uso de práticas conservacionistas revolvem e expõem a superfície do solo à ação das chuvas.

A cobertura vegetal caracteriza-se como um fator passivo que influencia na erosão hídrica contribuindo para menores taxas de perdas de solo. As copas das árvores e a serrapilheira interceptam as gotas de chuva que tocariam a superfície do solo diminuindo o impacto, a desestruturação, o selamento superficial do solo, a velocidade da enxurrada aumentando a infiltração de água no solo. A vegetação tem, portanto, papel fundamental no fluxo de água e qualquer mudança na cobertura vegetal afetará diretamente a taxa de escoamento superficial (Santos et. al., 2000).

Considerando-se a importância da vegetação no contexto da erosão hídrica, têm-se as práticas conservacionistas de caráter vegetativo e mecânico que são bastante utilizadas e constituem-se como princípios fundamentais de proteção ao solo. Elas têm o papel de reduzir a erosão hídrica e aumentar a infiltração de água no solo, o que, normalmente em áreas de florestas é elevada (Pritchett, 1979). Assim, a capacidade de infiltração de um solo depende do tipo e do uso do mesmo, sendo que o seu manejo incorreto tornando a superfície

desprotegida, diminui drasticamente sua capacidade de infiltração (Tucci & Clarke, 1997).

A cobertura vegetal nas bacias hidrográficas sofre modificações, e estas produzem os mais variados impactos ao meio ambiente, principalmente modificações que interferem no ciclo hidrológico. O escoamento superficial é um dos primeiros fatores a ser alterado quando a cobertura vegetal da bacia é modificada (Santos et. al., 2000).

O ciclo hidrológico numa bacia hidrográfica envolve os seguintes processos: precipitação, evapotranspiração, deflúvio (precipitação nos canais, escoamento superficial, escoamento sub-superficial e escoamento base) e armazenamento de água no solo. A interface entre solo, vegetação e atmosfera tem uma forte influência no ciclo hidrológico (Tucci & Clarke, 1997).

O componente de entrada do ciclo hidrológico é a precipitação, sendo a chuva o elemento de maior peso, especialmente em regiões tropicais e subtropicais e, portanto, predominante nas discussões sobre o tema (Silveira, 2001).

A chuva, ao atingir a superfície do solo, sofre dissipação, com uma parcela sendo retida pela cobertura vegetal, tão intensa quanto mais densa for a vegetação, outra parcela infiltra-se no solo, com o excedente escoando pela superfície. As plantas, juntamente com a própria superfície do solo, lagos e rios, transferem para a atmosfera grandes volumes de água na forma de vapor, sendo este componente conhecido pelo termo único evapotranspiração e corresponde a, aproximadamente, 50 a 60% do ciclo hidrológico (Righetto, 1998).

Sendo a sub-bacia hidrográfica a unidade natural de monitoramento, planejamento e gestão do uso dos recursos naturais e considerando a água o agente unificador de integração no manejo de sub-bacias hidrográficas, o conhecimento da hidrologia, bem como o funcionamento hidrológico da sub-

bacia hidrográfica, são fundamentais para o planejamento e manejo dos recursos naturais renováveis, visando o uso sustentável (Lima, 1996).

Em sub-bacias pertencentes à bacia do Rio Jaguari, localizadas no município de Extrema, sul de Minas Gerais, a criação de gado em áreas impróprias para atividade agrícola diminui a cobertura vegetal degradando o solo e os cursos de água, diminuindo a vazão das nascentes, riachos e rios, influenciando negativamente o ciclo hidrológico bem como a recarga do lençol freático. Nestas regiões, um grande volume de água deixa de infiltrar nos solos em decorrência da redução da cobertura vegetal e do uso incorreto do solo.

Tendo em vista o alto nível de degradação ambiental, o Programa Produtor de Água é uma ação que visa a recuperação de sub-bacias hidrográficas com foco nos recursos hídricos, sendo realizado através da articulação da gestão ambiental de recursos hídricos, uso do solo dentro de sua capacidade de uso e manejo correto dos sistemas de produção animal (pecuária) e vegetal (agricultura e silvicultura) utilizando-se do estabelecimento de incentivos financeiros dirigido prioritariamente a bacias hidrográficas de importância estratégica para o país (ANA, 2008). No caso do município de Extrema (MG), 99,8% de sua área total está inserida no Sistema Cantareira, um dos maiores sistemas de abastecimento público do mundo (TNC, 2006). O programa tem como foco a redução da erosão, melhoria na qualidade da água e aumento das vazões das nascentes, córregos e rios, utilizando práticas mecânicas, edáficas e vegetativas de conservação de solo e da água.

A realização do manejo racional em uma sub-bacia hidrográfica requer o conhecimento de diversos parâmetros de grande importância para o comportamento hidrológico, dentre os quais, a cobertura vegetal. O índice de vegetação avalia quanto da superfície da sub-bacia é ocupada por vegetação e por qual tipo de cobertura vegetal. Dessa maneira é possível avaliar o uso do

solo e planejar a recuperação de áreas que foram degradadas estabelecendo práticas conservacionistas adequadas para cada ambiente.

A obtenção do índice de vegetação pode ser feita por diferença normalizada (NDVI), obtido pela análise da diferença da banda do vermelho com a banda do infravermelho próximo na imagem de satélite. Esta metodologia tem se mostrado de fundamental importância no planejamento das atividades agrícolas e no gerenciamento dos recursos hídricos, pois permite avaliar as mudanças ocorridas na paisagem de forma rápida e economicamente viável, comparado ao trabalho de campo.

O índice de cobertura vegetal pode também ser calculado a partir de dados coletados no campo. Stocking (1988) propôs uma metodologia, a qual pode ser utilizada como verdade de campo, verificando a acurácia da imagem obtida por (NDVI).

Dada a importância da cobertura vegetal para a conservação do solo e da água, objetivou-se com esse trabalho avaliar o índice de cobertura vegetal por diferença normalizada (NDVI) verificando a acurácia da imagem obtida utilizando-se a metodologia descrita por Stocking (1988), na sub-bacia das Posses, Extrema - MG.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A área do estudo possui 1.196,7 hectares e compreende a sub-bacia hidrográfica das Posses, localizada no município de Extrema, ao sul do Estado de Minas Gerais (Figura 1). Esta sub-bacia está inserida na Bacia hidrográfica do Rio Jaguari, um dos rios que abastece o Reservatório do Sistema Cantareira no estado de São Paulo. Situa-se entre as coordenadas UTM 374.500 e 371.500 de longitude E e 7.468.200 e 7.474.800 de latitude S (Datum SAD 69) e entre as altitudes de 1.144 a 1.739 m. O clima na sub-bacia das Posses é do tipo Cwb de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado como mesotérmico de verões brandos e suaves e estiagem de inverno. A temperatura média anual é 18°C, tendo no mês mais quente e no mês mais frio temperaturas médias de 25,6°C e 13,1°C, respectivamente, com ocorrência de geadas anualmente, e precipitação média anual de 1.477 mm (ANA, 2008). Os solos ocorrentes na sub-bacia são os Argissolos Vermelho-Amarelos, Cambissolos Háplicos e Húmicos, Neossolos Litólicos e Neossolos Flúvicos (Figura 2). O relevo corresponde principalmente a áreas de relevo ondulado e forte ondulado (Tabela 1). A Figura 3 representa o mapa de declividade da sub-bacia das Posses.

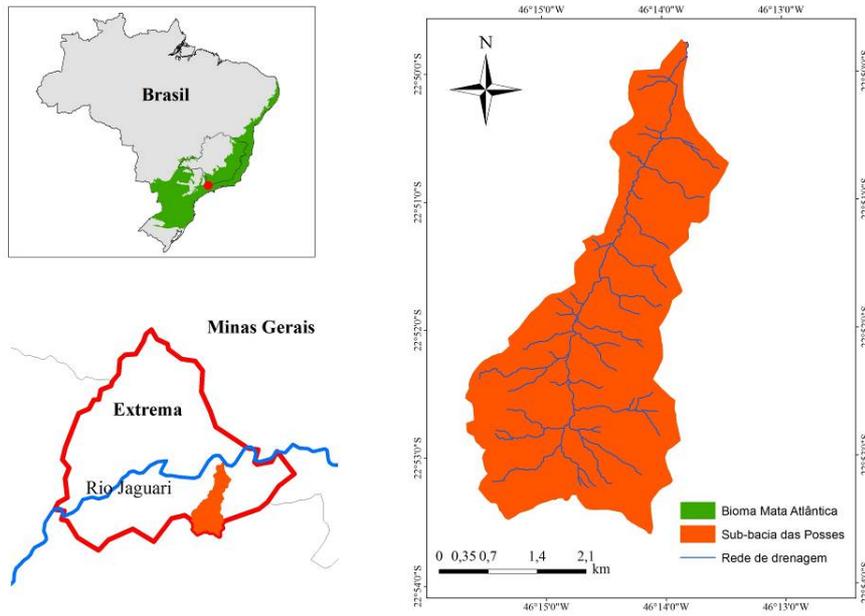


FIGURA 1 Mapa de localização da sub-bacia das Poses, Extrema (MG).

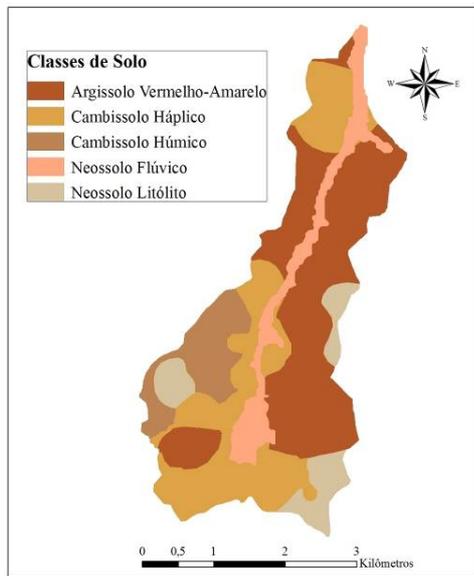


FIGURA 2 Mapa das classes de solos da sub-bacia das Poses, Extrema (MG).

Tabela 1 Distribuição do relevo da sub-bacia das Posses, Extrema (MG).

Classes	Área	
	----- ha -----	----- % -----
Plano (0-3%)	121,2	10,1
Suave Ondulado (3-8%)	29	2,4
Ondulado (8-20%)	260,4	21,8
Forte Ondulado (20-45%)	717,8	60
Montanhoso (45-75%)	66	5,5
Escarpado (>75%)	2,3	0,2
Total	1.196,70	100

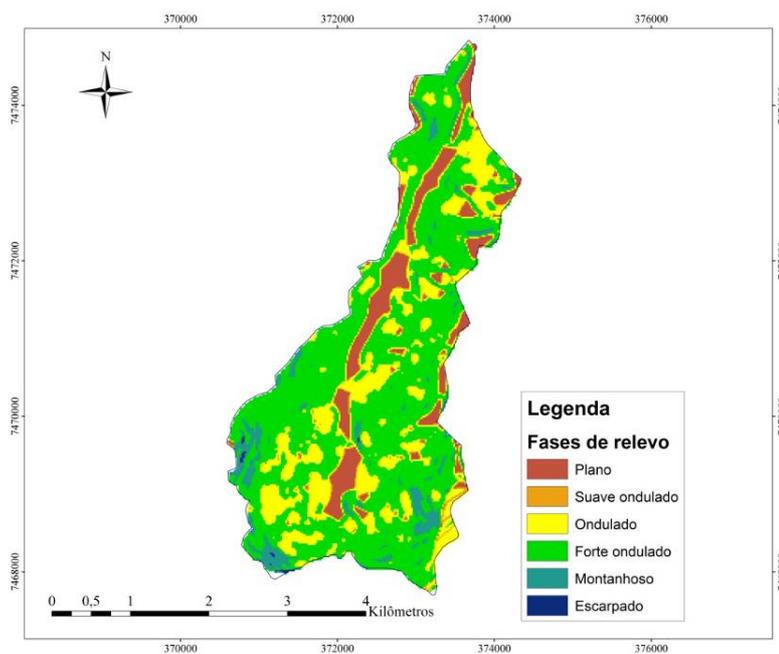


FIGURA 3 Mapa de declividade da sub-bacia das Posses, Extrema (MG)

Foi determinado o índice de vegetação da Sub-bacia das Posses pelo Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que consiste em um índice gerado pela combinação de bandas em sensoriamento remoto que estão relacionadas com a quantidade e o tipo de vegetação existente no terreno, consistindo uma importante estratégia para o monitoramento das alterações naturais, ou produzidas pelo homem, nos ecossistemas (Rizzi & Fonseca, 2001; Okin, 2007).

Após a aquisição das imagens do satélite LANDSAT 5 sensor TM do dia 5 de agosto 2009, obtidas através do site da Divisão de Geração de Imagens do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), fez-se o registro destas através do software ArcGIS 9.3, tendo-se como referência a cena GeoCover disponibilizada pela NASA (Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica dos Estados Unidos). A correção foi feita de mapa para mapa através da coleta de no mínimo 10 pontos conhecidos em ambas as imagens, sendo considerada a tolerância estatística do erro menor que 1 pixel, com precisão de 30m. Após o registro foi realizada a aplicação do índice de vegetação (NDVI) gerando imagens com os valores desse índice para cada pixel.

Para gerar o NDVI da imagem selecionada foi necessário utilizar as bandas 3 e 4 da imagem, as quais atuam no comprimento de onda que vai de 0,4 μm a 0,8 μm correspondente a região do visível-vermelho e ao infravermelho próximo, empregando a equação: $\text{NDVI} = (\rho_3 - \rho_4) / (\rho_3 + \rho_4)$, onde, ρ_3 é a refletância na banda 3 (vermelho) e ρ_4 corresponde a refletância na banda 4 (infravermelho próximo).

Os valores do NDVI oscilam de -1 a +1. Quanto mais próximo de +1, maior a densidade da cobertura vegetal, ou seja, ela apresenta-se em seu estágio denso, úmida e bem desenvolvida (Jarlan et al., 2008; Costa et al., 2007). A água tem refletância na banda 3 maior do que na banda 4, portanto, apresenta valores negativos, próximos a -1, no NDVI. As nuvens refletem de forma semelhante no

visível e no infravermelho próximo, portanto, espera-se que o valor do pixel seja bem próximo de zero. O solo nu sem vegetação, ou com vegetação rala e esparsa, apresenta valores positivos, mas não próximos de +1 (Poeking et al., 2007).

A Figura 4 expõe a escala de valores e suas cores correspondentes ao NDVI apresentada por Poeking et al. (2007) a qual, foi utilizada como base para este trabalho.

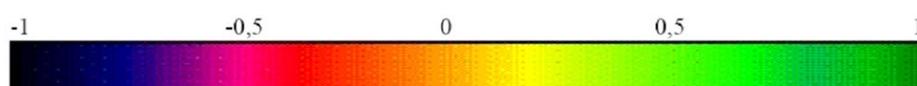


FIGURA 4 Valores da razão entre as bandas do vermelho e infravermelho próximo Poeking et al. (2007)

Para determinação das classes de vegetação foram considerados os padrões de cobertura observados em campo com a coleta de pontos em vários locais na sub-bacia hidrográfica através do aparelho de GPS. Neste sentido, o NDVI foi classificado em cinco categorias: Corpos Hídricos (-0,73 a -0,33); Sem cobertura vegetal (-0,34 a 0,18); Pastagem degradada (0,19 a 0,23), Pastagem (0,24 a 0,45) e Vegetação arbórea (0,46 a 0,91). Há também, presença de falhas, nuvens e interferência de suas sombras, ambas foram enquadradas na categoria Sem cobertura vegetal, devido o NDVI apresentar valores semelhantes aos encontrados para os outros componentes que integram esta categoria.

A fim de comparar a cobertura vegetal da sub-bacia em relação à paisagem, o NDVI foi calculado para uma área total de 17.463,5 hectares, caracterizando uma área no entorno da sub-bacia hidrográfica das Posses, que possui 1.196,6 ha de extensão.

A partir do índice de cobertura vegetal avaliado pelo NDVI, mapeou-se a cobertura vegetal presente na sub-bacia das Posses.

Para verificar a acurácia do mapeamento da cobertura vegetal da área por NDVI, realizou-se neste trabalho o cálculo do índice de cobertura vegetal utilizando-se a metodologia descrita por Stocking (1988). Primeiramente, fez-se uma avaliação da cobertura vegetal no campo, onde foram escolhidos aleatoriamente 63 pontos na sub-bacia das Posses, sendo que estes pontos caracterizaram todos os tipos de vegetação presentes na área de estudo (vegetação arbórea, área sem vegetação, pastagem e pastagem degradada). Estas classes foram escolhidas por representarem a real situação da sub-bacia.

As avaliações em cada ponto foram realizadas fazendo-se leituras por um aparato que consiste em uma estrutura horizontal, contendo 19 orifícios para visualização, instalados a cerca de 1,5 m de altura do solo. Convencionou-se a contagem de 0 para um solo desnudo ou com restos de vegetação, 0,5 quando a vista for parcialmente formada por vegetação e de 1,0 se for vista a própria vegetação Stocking (1988). A partir dos dados coletados em campo avaliou-se o índice de cobertura vegetal utilizando-se a seguinte equação:

$$\text{IC (\%)} = \frac{\text{Número de visões de vegetação}}{\text{Total de todas as visões}} \times 100$$

A partir do índice de cobertura vegetal avaliado em campo confirmou-se a imagem obtida pelo mapeamento utilizando-se o índice de cobertura vegetal por (NDVI).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nota-se que a sub-bacia das Posses apresenta área de vegetação arbórea inferior a 300 ha, que representa aproximadamente 24% da área total da sub-bacia, enquanto que a área de entorno apresenta aproximadamente 8.000 ha de área de vegetação arbórea, que equivale a aproximadamente 46% da área de entorno (Tabelas 2 e 3 e Figura 5).

A sub-bacia das Posses encontra-se bastante alterada quando comparada com paisagem do entorno, o que irá refletir na recarga de água. Observa-se na Figura 5 que a pastagem é predominante na sub-bacia das Posses, enquanto que na paisagem de entorno esta proporção quase se iguala às áreas com vegetação arbórea. O uso intensivo do solo na sub-bacia das Posses causa acelerada degradação dessa área, o que faz com que seja necessária, a urgente recuperação da mesma. Dada essa importância, a sub-bacia das Posses foi escolhida como área piloto do Programa Produtor de Água (ANA, 2008).

A cobertura vegetal além de diminuir as perdas de solo e água por erosão possibilita a infiltração da água que chega ao solo, já que a vegetação mantém a água da precipitação no sistema. As áreas cobertas por pastagem degradada e as áreas descobertas caracterizam-se como áreas críticas em relação à degradação, diminuindo a capacidade de infiltração do solo.

A vegetação arbórea que caracteriza a paisagem do entorno (Tabela 3) são áreas definidas como APP (Áreas de Preservação Permanente). Incluem-se nestas, pequenas áreas protegidas pelo Código Florestal (Lei 4.771 de 1965), o qual dispõe, em seu artigo 2º, sobre as áreas em topos de morros, montes, montanhas e serras, sendo vedada a utilização dessas áreas e conseqüente remoção de suas coberturas vegetais originais (BRASIL, 1965). Reforça ainda

esta Lei o dispositivo da Resolução do CONAMA, Nº 303 datado de 20 de março de 2002 conhecido como “Lei do Topo de Morro” (BRASIL, 2002).

TABELA 2 Distribuição das classes de cobertura vegetal obtidas pelo NDVI na sub-bacia das Posses, Extrema (MG).

Classe de cobertura vegetal	-----Área-----	
	ha	%
Sem cobertura vegetal	32,5	2,72
Pastagem degradada	36,3	3,03
Pastagem	838,7	70,09
Vegetação arbórea	289,1	24,16
Total	1196,6	100

TABELA 3 Distribuição das classes de cobertura vegetal obtidas pelo NDVI na área de entorno da sub-bacia das Posses, Extrema (MG).

Classe de cobertura vegetal	-----Área-----	
	ha	%
Sem cobertura vegetal	607,5	3,48
Pastagem degradada	498,1	2,85
Pastagem	8399,8	48,10
Vegetação arbórea	7958,2	45,57
Total	17463,5	100

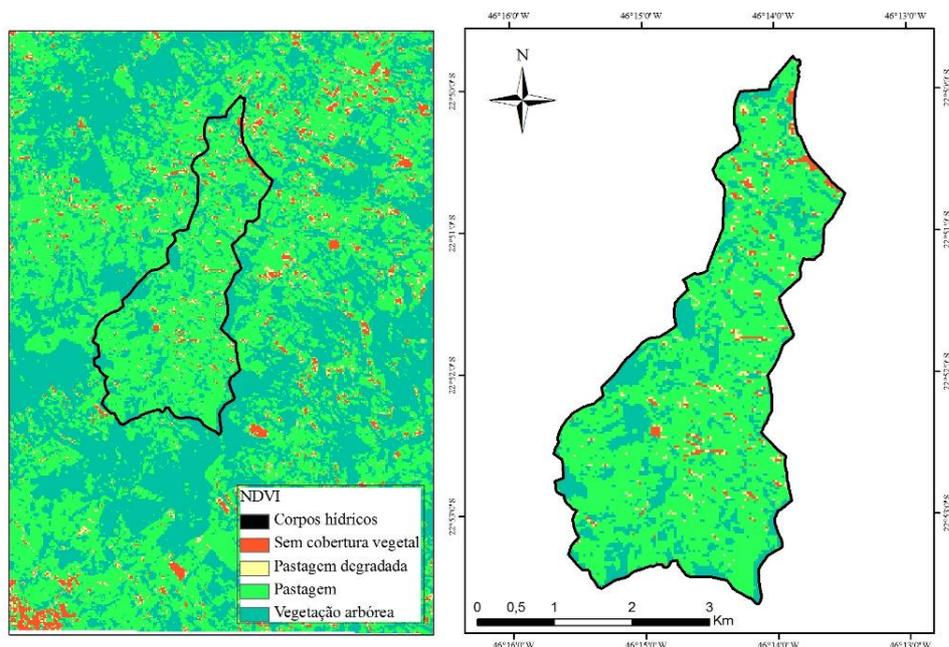


FIGURA 5 Mapa de NDVI da área de entorno com os limites da sub-bacia e destaque da sub-bacia das Poses, Extrema (MG).

Os valores de índices de cobertura obtidos segundo a metodologia avaliada em campo (Stocking, 1988), para cada classe de vegetação encontrada na sub-bacia podem ser observados na Tabela 4.

Os dados obtidos no campo caracterizaram a atual situação da cobertura vegetal da sub-bacia das Poses. Dentre os resultados obtidos, somente para a classe de vegetação arbórea encontrou-se um índice de cobertura vegetal de alto valor, caracterizando esta área como bastante degradada, já que se sabe que 73% da área total da sub-bacia das Poses é ocupada por pastagem.

Para as classes pastagem, pastagem degradada e área sem vegetação encontraram-se índices de cobertura inferiores a 40. Segundo Machado et.al., 2003, há forte relação entre a erosão e produção de sedimentos numa bacia com o uso da terra, principalmente em solos sob pastagens. Os processos

hidrológicos associados ao uso e manejo da terra claramente exercem um papel dominante na produção e transporte de sedimentos.

TABELA 4 Classes e índices de cobertura vegetal na sub-bacia das Posses, Extrema (MG).

Classe	IC (%)
Sem cobertura vegetal	0
Pastagem degradada	24
Pastagem	38
Vegetação arbórea	100

Os valores em (%) de cobertura vegetal determinados em campo comprovam os obtidos pelo NDVI. Assim, com o auxílio das imagens da cobertura vegetal presente na sub-bacia das Posses utilizando-se o NDVI (Figura 5), e o índice de vegetação, determinado segundo Stocking (1988) (Tabela 4), é possível identificar áreas as quais estão mais degradadas e necessitam de maior atenção e mais rápida implantação de práticas conservacionistas.

O programa Produtor de Água tem como finalidade a conservação e recuperação do solo e da água de sub-bacias pertencentes à Bacia do Rio Jaguari, que por sua vez pertence ao sistema Cantareira. Sem práticas conservacionistas do solo e da água os cursos d'água presentes nas sub-bacias envolvidas no sistema Cantareira e a recarga do lençol freático ficarão comprometidos, já que a infiltração de água no solo pode ser afetada diretamente pelo baixo índice de cobertura vegetal em grande parte da sub-bacia das Posses.

Dessa maneira, nota-se a importância deste estudo para que a partir dos resultados, sejam feitas na sub-bacia das Posses, bem como nas demais sub-bacias, projetos de recuperação da área, revegetando a mesma e promovendo a educação ambiental entre os proprietários rurais que vivem na sub-bacia, bem como para toda sociedade, que se beneficia desse recurso natural.

6 CONCLUSÕES

O conhecimento da atual situação de degradação da sub-bacia das Posses foi claramente evidenciado utilizando as metodologias de NDVI e de índice de cobertura vegetal de Stocking. O índice de cobertura vegetal verificado em campo confirmou as imagens obtidas por NDVI.

A sub-bacia das Posses possui aproximadamente 73% de sua área ocupada por pastagens e 24% por vegetação arbórea, enquanto que a área ao entorno da sub-bacia apresenta aproximadamente 48% coberta por pastagem e 46% coberta por vegetação arbórea, caracterizando o predomínio por pastagens na sub-bacia em estudo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Programa produtor de água superintendência de usos múltiplos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2008.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de Setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 set. 1965, n. 4771. Seção I.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 13 maio 2002. Seção I, p. 68.

COSTA, F. H. dos S.; SOUZA FILHO, C. R. de; RISSO, A. Análise temporal de NDVI e mapas potenciais naturais de erosão na região do Vale do Ribeira, São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. CD-ROM.

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS. Disponível em: <<http://www.inpe.br>>. Acesso em: 26 ago. 2009.

JARLAN, A. B.; MANGIAROTTI, A. B.; MOUGIN, A.; MAZZEGA, C. D.; HIERNAUX, A.; DANTEC, A. Assimilation of SPOT/VEGETATION NDVI data into a Sahelian vegetation dynamics model. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 112, n. 4, p. 1381-1394, Apr. 2008.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2. ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1996. 301 p.

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia Hidrográfica do Ribeirão Dos Marins (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, n. 27, n. 4, p. 735-741, jul./ago. 2003.

THE NATURE CONSERVANCY. 2006. Disponível em: <<http://www.nature.org>>. Acesso em: 5 mar. 2008.

OKIN, G. S. Relative spectral mixture analysis - a multitemporal index of total vegetation cover. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 106, n. 4, p. 467-479, Feb. 2007.

POELKING, E. L.; LAUERMANN, A.; DALMOLIN, R. Imagens CBERS na geração de NDVI no estudo da dinâmica da vegetação em período de estresse hídrico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. CD-ROM.

PRITCHETT, W. L. **Properties and management of forest soils**. New York: J. Wiley, 1979. 500 p.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998. 840 p.

RIZZI, R.; FONSECA, E. L. da. Análise da variação espacial e temporal do NDVI no Estado do Rio Grande do Sul através de imagens AVHRR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2001. p. 1735-1737.

SANTOS, C. A. G.; SUZUKI, K.; WATANABE, M.; SRINIVASAN, V. S. Influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 92-96, jan. 2000.

SILVEIRA, A. L. L. A. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2001. p. 35-52.

STOCKING, M. A. Assessing vegetative cover and management effects. In: LAL, R. (Ed.). **Soil erosion research methods**. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1988. p. 163-185.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 135-152, jun. 1997.

CAPÍTULO 3

AVALIAÇÃO DOS INDICADORES FÍSICOS E QUÍMICOS DA QUALIDADE DO SOLO NA SUB-BACIA DAS POSSES NO MUNICÍPIO DE EXTREMA (MG)

1 RESUMO

O solo é um corpo natural complexo e dinâmico resultante da atuação conjunta de fatores de formação como clima, organismos, material de origem, relevo e tempo. Os atributos morfológicos, físicos e químicos do solo variam dependendo do manejo adotado e das próprias características de origem do solo. Tendo em vista a importância dos atributos físicos e químicos do solo para a cobertura vegetal bem como para sua qualidade, objetivou-se com este trabalho, avaliar os atributos físicos e químicos indicadores da qualidade do solo na sub-bacia das Posses em Extrema (MG). Dentre os atributos físicos avaliados, a condutividade hidráulica do solo saturado obteve baixos valores que estão relacionados à baixa macroporosidade do solo, que por sua vez é reduzido devido ao manejo incorreto e degradação do solo na região. A degradação do solo influencia de forma negativa sua fertilidade, dificultando o crescimento da vegetação.

2 ABSTRACT

The soil is a complex and dynamical natural body, resultant of the combined performances of different factors, as climate, organisms, parent material, relief and time. Morphological, physical and chemical soil attributes vary depending on its original properties as well as on how it is managed. Taking into consideration the importance of the soil physical and chemical properties for the vegetal cover and its quality, the aimed of this work was to evaluate the physical and chemical attributes that indicate the soil quality at the Sub-basin of Posses in the Extrema (MG). Among the physical attributes evaluated, the low values of saturated soil hydraulic conductivity are related to the low soil macroporosity, which is reduced due to the incorrect soil management and soil degradation in the region. The soil degradation influences negatively its fertility, which difficulties the vegetation growth.

3 INTRODUÇÃO

O solo é um corpo natural complexo e dinâmico resultante da atuação conjunta de fatores de formação como clima, organismos, material de origem, relevo, tempo e ação antrópica (Amundson & Jenny, 1991).

O manejo do solo afeta diretamente o equilíbrio das condições de infiltração de água (Souza et al., 2004), podendo ser benéfico ou mesmo prejudicial. Assim, os atributos do solo precisam ser monitorados, para que o uso intensivo deste recurso não provoque mudanças indesejáveis no seu comportamento hídrico, Bertol et al. (2000).

A degradação dos atributos físicos do solo é um dos principais processos responsáveis pela perda da qualidade estrutural e aumento da erosão hídrica (Bertol et al., 2001). Algumas práticas de manejo do solo provocam alterações nesses atributos, podendo tais alterações serem permanentes ou temporárias.

De acordo com Camargo & Alleoni (1997), as principais alterações são evidenciadas por redução do teor de carbono orgânico do solo, aumento da densidade do solo, redução da porosidade (aumento da microporosidade em detrimento da macroporosidade), estabilidade e tamanho dos agregados, permeabilidade do solo à água e resistência do solo à penetração.

Em solos tropicais, menores valores de densidade do solo estão relacionados à formação da estrutura granular, em conseqüência, principalmente, de elevados teores de óxidos de alumínio. (Ferreira et al., 1999a; Giarola et al., 2002; Pedrotti et al., 2003). Alvarenga et al. (1996) verificaram que a restrição ao crescimento radicular de leguminosas e a infiltração de água ocorre em valores de densidade acima de $1,25 \text{ kg dm}^{-3}$, em latossolo de textura muito argilosa.

Comparando valores de densidade do solo em diferentes povoamentos florestais, Martins et al. (2002) observaram um menor valor para a área sob mata nativa ($1,03 \text{ kg dm}^{-3}$), em relação a outras áreas ($1,25$ a $1,28 \text{ kg dm}^{-3}$), onde havia sido realizado preparo do solo para implantação dos povoamentos, além de preparos anteriores, quando utilizadas para cultivo agrícolas. Seixas et al. (1998) verificaram aumento na densidade do solo sob floresta após a realização de colheita mecanizada, independente do sistema de manejo de resíduos utilizado, em solo de textura arenosa.

Diversos autores relatam alteração da densidade do solo em função do manejo, tendo como referencial a condição natural (Corrêa, 1985; Carvalho Júnior et al., 1998; Cavenage et al., 1999; Beutler et al., 2001a; Martins et al. 2002; Rosa et al., 2003). Segundo Beltrame et al. (1981), a densidade do solo afeta a sua resistência à penetração e a condutividade hidráulica. A relação entre densidade do solo e resistência à penetração também foi observada por Smith et al. (1997).

A densidade é um importante atributo no estudo dos fluxos hidráulicos, sendo função da estrutura, textura e compactação do solo, (Richardt et. al., 2004). A densidade é muito usada na avaliação do estado estrutural do solo (Scapini et al., 1998).

Os atributos físicos do solo interferem na produção de água em sub-bacias hidrográficas. Estudo realizado na sub-bacia hidrográfica no Alto Rio Grande observou grande variabilidade para a densidade do solo, com menores valores em glebas cultivadas com lavouras e eucalipto, sendo o contrário constatado nas glebas ocupadas com pastagens (Gomes, 2005). A presença de maior densidade do solo nas regiões de recarga de nascentes é indicativo de perturbação das condições de infiltração e restrição ao fluxo de água no solo, o que compromete o abastecimento do aquífero, favorece o escoamento superficial direto, possibilita o arraste de partículas, promove o assoreamento dos cursos de

água, aumenta a resistência mecânica à penetração radicular e reduz a aeração e a disponibilidade de água às plantas (Camargo & Alleoni, 1997).

A qualidade estrutural do solo em função do manejo também pode ser avaliada através da porosidade do solo. Vários autores comprovam alteração de porosidade em função de alterações no ambiente natural, tanto no setor agrícola (Corrêa, 1985; Da Ros et al., 1997; Carvalho Júnior et al., 1998; Alcântara & Ferreira, 2000; Beutler et al., 2001a; Klein & Libardi, 2002; Rosa et al., 2003) como no setor florestal (Alvarenga & Davide, 1999).

A permeabilidade do solo à água pode ser considerada como um dos mais importantes atributos relativos ao manejo da água no solo, e de suma importância na recarga dos aquíferos.

A estabilidade de agregados é importante em estudos de qualidade do solo, sendo utilizados como indicadora da sustentabilidade de sistemas de uso e manejo do solo (Vieira & Muzilli, 1984; Carpenedo & Mielniczuk, 1990; Silva & Mielniczuk, 1997; Castro Filho et al., 1998; Silva et al., 1998; Alcântara & Ferreira, 2000; Silva et al., 2000; D'Andréa et al., 2002a; Martins et al., 2002).

A determinação da distribuição de agregados por tamanho, através do peneiramento em água, tem como objetivo simular os efeitos da erosão hídrica sobre o solo; no entanto, sabe-se que as forças utilizadas em laboratório não reproduzem, na sua totalidade, o que ocorre em campo, (Kemper & Chepil, 1965; Kemper & Rosenau, 1986).

Uma maior estabilidade de agregados, estimada através do diâmetro médio geométrico, foi observada em áreas de mata nativa (Silva et al., 1998; Beutler et al., 2001b; Martins et al., 2002), comparada com outros sistemas, visto que o preparo do solo tende a romper a estrutura do solo, destruindo os agregados.

Segundo D'Andréa et al. (2002a) e Silva et al. (2000), os sistemas conservacionistas de manejo, como o plantio direto, ao contrário dos preparos

com revolvimento do solo, mantiveram as melhores condições de agregação, estimadas pelo diâmetro médio geométrico e porcentagem de agregados maior que 2 mm. Estes resultados de agregação evidenciam a contribuição da matéria orgânica do solo com a estabilidade de agregados, que se apresenta em maior concentração nos sistemas naturais (Silva et al., 1998; Silva et al. 2000; Beutler et al., 2001b; D'Andréa et al., 2002a).

Em condição natural os teores de matéria orgânica podem ser mais elevados em função do grande aporte de resíduos e conservação no ecossistema. Por outro lado, ao avaliar a estabilidade de agregados em mata plantada de eucalipto e mata nativa, Fonseca (1984) observou que existem evidências no aumento da estabilidade de agregados com a mudança de mata natural para eucalipto. Segundo esse autor, apesar da maior quantidade de matéria orgânica sob mata natural, possivelmente a maior atividade da microbiota sob eucalipto, associada ao uso do fogo na implantação dos reflorestamentos, sejam as possíveis causas. Fonseca (1984) relata também a maior eficiência do sistema radicular de gramíneas, quando comparado com eucalipto, em favorecer a agregação do solo pelos melhores valores obtidos para os índices de estabilidade de agregados avaliados neste sistema.

A presença do carbono orgânico no solo reduz a compactação e erosão hídrica, pois atenua o impacto das gotas de chuva e o salpicamento do solo (Moraes et al., 2003). O aumento da quantidade de carbono orgânico do solo altera a distribuição de poros, facilitando a infiltração de água criando condições favoráveis ao desenvolvimento do macro e micro fauna, além de aumentar a capacidade de retenção, armazenamento e recarga dos aquíferos, proporcionando menores oscilações das vazões das nascentes ao longo do ano hidrológico. Bertol et al. (2000).

A importância da matéria orgânica para o ecossistema está relacionada às funções que desempenha, tanto de natureza física, química como biológica, o que sustenta sua condição de atributo relevante em estudos de qualidade do solo.

Dentre as funções de natureza física da matéria orgânica do solo destaca-se sua influência direta na capacidade de retenção de água no solo e melhoria do estado de agregação (Stevenson, 1994; Bayer & Mielniczuk, 1999).

Diversos estudos envolvendo sistemas de manejo verificaram correlação entre teor de carbono orgânico no solo e agregação (Castro Filho et al., 1998; Alvarenga & Davide, 1999; D'Andréa, 2001).

Estudos sobre Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, Alvarenga & Davide (1999) observaram que as áreas com reflorestamento adulto de eucalipto e com um ano de reflorestamento apresentaram menor teor de carbono orgânico em relação ao cerrado nativo. Estes mesmos autores verificaram correlação entre carbono orgânico do solo e os seguintes atributos físicos: densidade do solo, porosidade total e porcentagem de agregados maiores que 2 mm, destacando o papel da matéria orgânica na agregação. As alterações dos atributos avaliados em todos os sistemas de manejo foram mais evidentes na camada superficial do solo.

Outros autores verificaram também, alterações no conteúdo de carbono orgânico (Marchiori Júnior & Melo, 2000). Comparações entre sistemas que promovem um maior ou menor revolvimento do solo também foram realizadas, nas quais se verifica uma tendência dos primeiros em apresentar menores teores de carbono orgânico no solo (Castro Filho et al., 1998; Corazza et al., 1999; D'Andréa, 2001).

A matéria orgânica do solo atua nas propriedades físicas do solo promovendo a estruturação, contribuindo para a estabilidade de agregados, reduzindo a densidade do solo, e deste modo, conseqüentemente, favorece a

infiltração de água no solo e o desenvolvimento de raízes, além de fornecer nutrientes às plantas.

Portanto objetivou-se com este trabalho, avaliar os atributos físicos e químicos indicadores da qualidade do solo visando o aumento da recarga de água, na sub-bacia das Posses em Extrema (MG).

4 MATERIAL E MÉTODOS

A área do estudo possui 1.196,7 hectares e compreende a sub-bacia hidrográfica das Posses, localizada no município de Extrema, ao sul do Estado de Minas Gerais (Figura 1). Esta sub-bacia está inserida na Bacia hidrográfica do Rio Jaguari, um dos rios que abastece o Reservatório do Sistema Cantareira no estado de São Paulo. Situa-se entre as coordenadas UTM 374.500 e 371.500 de longitude E e 7.468.200 e 7.474.800 de latitude S (Datum SAD 69) e entre as altitudes de 1.144 a 1.739 m. O clima na sub-bacia das Posses é do tipo Cwb de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado como mesotérmico de verões brandos e suaves e estiagem de inverno. A temperatura média anual é 18°C, tendo no mês mais quente e no mês mais frio temperaturas médias de 25,6°C e 13,1°C, respectivamente, com ocorrência de geadas anualmente, e precipitação média anual de 1.477 mm (ANA, 2008). A formação geológica da sub-bacia das Posses está representada na Figura 2. Os solos ocorrentes na sub-bacia são os Argissolos Vermelho-Amarelos, Cambissolos Háplicos e Húmicos, Neossolos Litólicos e Neossolos Flúvicos (Figura 3). O relevo corresponde principalmente a áreas de relevo ondulado e forte ondulado (Tabela 1). A Figura 4 representa o mapa de declividade da sub-bacia das Posses.

TABELA 1 Distribuição do relevo da sub-bacia das Posses, Extrema (MG).

Classes	Área	
	----- ha -----	----- % -----
Plano (0-3%)	121,2	10,1
Suave Ondulado (3-8%)	29	2,4
Ondulado (8-20%)	260,4	21,8
Forte Ondulado (20-45%)	717,8	60
Montanhoso (45-75%)	66	5,5
Escarpado (>75%)	2,3	0,2
Total	1.196,70	100

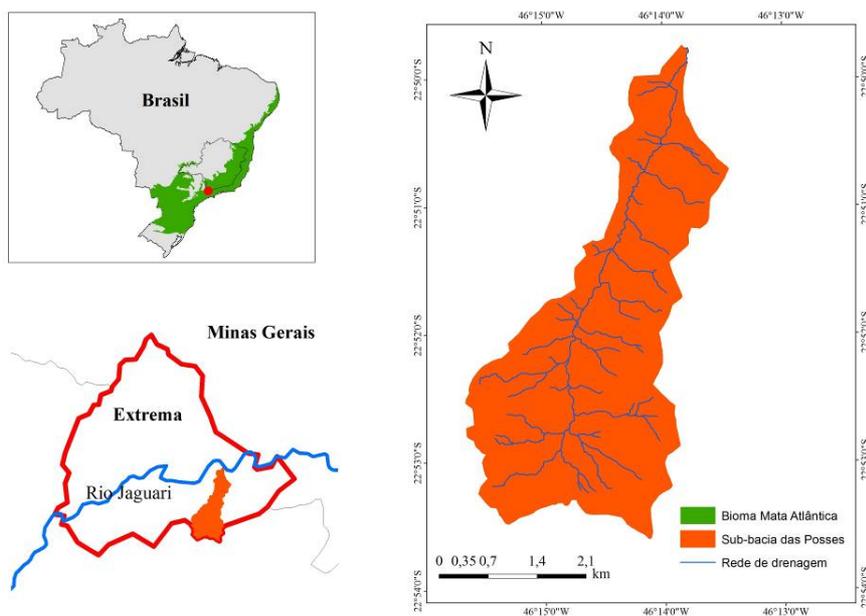


FIGURA 1 Mapa de localização da sub-bacia das Posses, Extrema (MG).

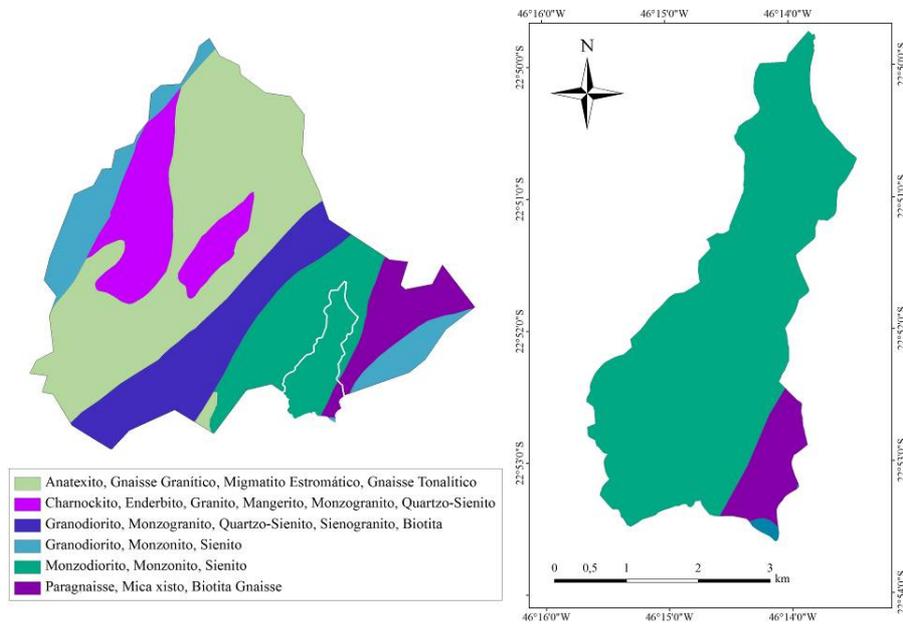


FIGURA 2 Mapa geológico da sub-bacia das Poses, Extrema (MG).

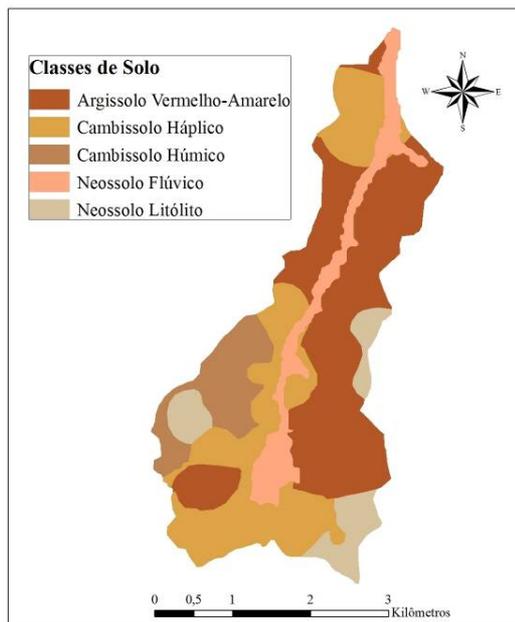


FIGURA 3 Mapa das classes de solos da sub-bacia das Poses, Extrema (MG).

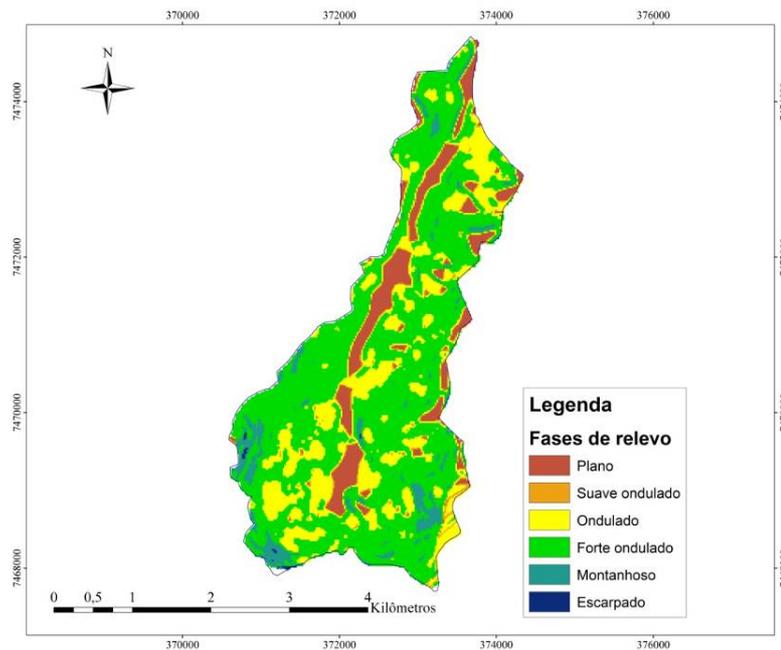


FIGURA 4 Mapa de declividade da sub-bacia das Posses, Extrema (MG)

A coleta de amostras de solo no campo foi realizada de acordo Lemos & Santos et al. (2005) e os solos classificados de acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2006). Foram abertos perfis representativos considerando a classe e o uso atual do solo para coleta das amostras deformadas e indeformadas.

A análise textural foi realizada pelo método da pipeta (Day, 1965). A densidade do solo foi determinada em laboratório, utilizando-se amostras indeformadas segundo Blake & Hartge (1986) e a densidade de partículas pelo método do balão volumétrico (Blake & Hartge, 1986).

O volume total de poros foi determinado segundo Danielson & Sutherland (1986). A microporosidade foi obtida em amostras indeformadas, previamente saturadas por 24 horas, utilizando-se mesa de tensão com 60 cm de

altura de coluna de água, sendo a macroporosidade obtida pela diferença entre a porosidade total e microporosidade (Grohmann, 1960).

A estabilidade de agregados foi determinada através de peneiramento em água com agregados secos e pré-umedecidos lentamente por capilaridade (Grohmann, 1960; Oliveira et al., 1983; Kemper & Rosenau, 1986). A fração de agregados que passou na peneira de 7,93mm e ficou retida na peneira de 4,76mm foi separada em classes utilizando-se jogo de peneiras de malhas: 2mm; 1mm; 0,5mm; 0,25mm; 0,105mm. Os resultados foram expressos em termos de diâmetro médio geométrico (DMG).

A condutividade hidráulica do solo saturado foi determinada usando-se um permeâmetro de carga constante, seguindo metodologia descrita por Lima (1990).

A matéria orgânica foi determinada pela oxidação úmida em $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ $0,8 \text{ mol L}^{-1}$. Após oxidação completa, mediu-se a absorbância em colorímetro, a 650 nm (Raij et al., 1987). Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Alumínio (Al) trocáveis foram extraídos com KCL 1 mol L^{-1} . O Al trocável foi titulado com NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$, Ca e Mg trocáveis, por sua vez, foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica de chama ar-acetileno. O potássio trocável foi extraído com HCL $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ e determinado por fotometria de chama. A acidez potencial (H+Al) foi extraída com Ca-acetato tamponado a pH 7 e, então, titulada com NaOH $0,0606 \text{ mol L}^{-1}$. O Fósforo (P) disponível foi extraído pela solução Mehlich 1.(HCL $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ + H_2SO_4 $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$). Após a extração de P, ácido ascórbico e molibdato de amônio foram usados para o desenvolvimento da cor, cuja intensidade foi medida por colorímetro.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado composto por 11 tratamentos estruturados conforme apresentado na Tabela 2 e Figura 5. Foram amostrados na área 63 pontos, sendo que o número de repetições por tratamentos foi variável de forma representativa da área.

TABELA 2 Plano experimental adotado no estudo.

Tratamento	Solo	Horizonte B	Especificação	Cobertura	Exposição
1	PVA	Presente	Degradada		
2	C	Presente			
3	PVA	Presente	Não Degradada	Pastagem	
4	RL	Ausente			
5	RY	Ausente			Não exposto
6	RL	Ausente	Nativa	Mata	
7	C	Presente			
8	PVA	Presente	Eucalipto		
9	C	Presente			
10	C	Presente	-	s/ palha	Exposto
11	PVA	Presente	-	c/ palha	

PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; C: Cambissolo; RL: Neossolo Litólico; RY: Neossolo Flúvico.

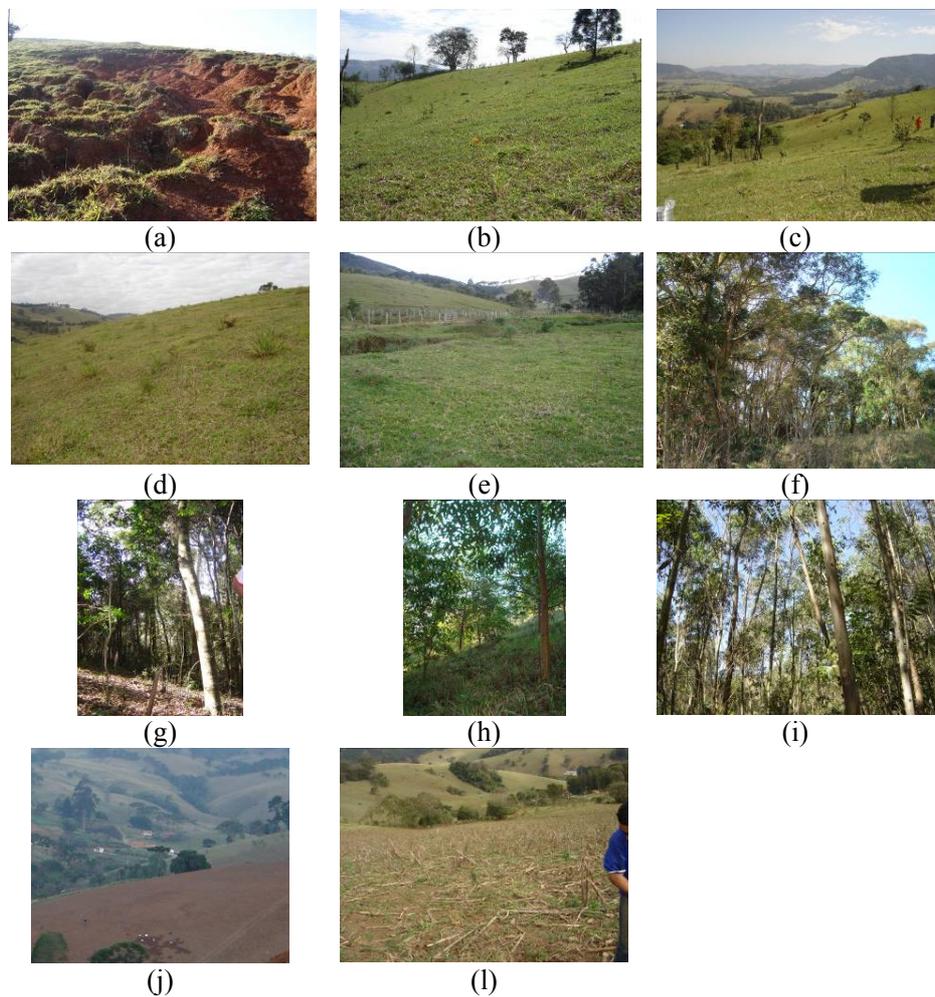


FIGURA 5 Tratamentos testados

Onde, Argissolo Vermelho-Amarelo sob Pastagem degradada é caracterizado por (a), Cambissolo sob Pastagem não degradada (b), Argissolo Vermelho-Amarelo sob Pastagem não degradada (c), Neossolo Litólico sob Pastagem não degradada (d), Neossolo Flúvico sob Pastagem não degradada (e), Neossolo Litólico sob mata nativa (f), Cambissolo sob mata nativa (g), Argissolo Vermelho-Amarelo sob mata plantada de eucalipto (h), Cambissolo sob mata plantada de eucalipto (i), Cambissolo exposto sem palha (j) e Argissolo Vermelho-Amarelo exposto coberto com palha de milho (l).

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando-se o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2000) e, quando foi detectada diferença significativa entre os tratamentos, as médias foram comparadas através de contrastes entre grupos de interesse do trabalho (Figura 6). Os coeficientes utilizados para realização de cada contraste estão apresentados na Tabela 3.

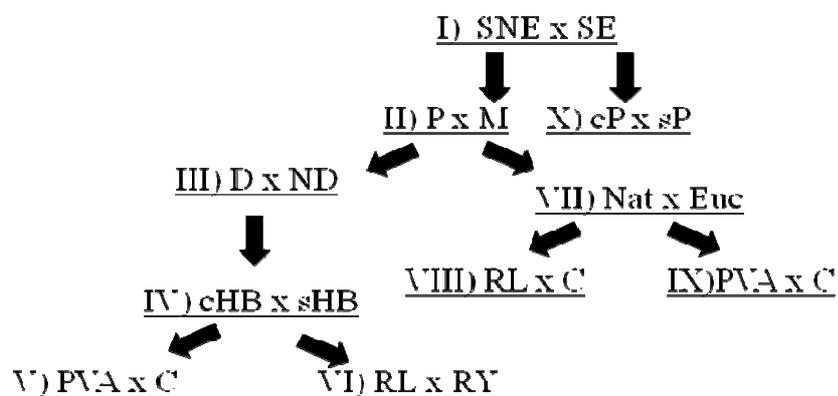


FIGURA 6 Histograma de contrastes para comparação entre médias.

Onde, SNE caracteriza-se como Solo não exposto; SE: Solo exposto; P: Pastagem; M: mata; D: Degradada; ND: Não degradada; cHB: Com horizonte B; sHB: Sem horizonte B; PVA: Argissolo; C: Cambissolo; RL: Neossolo Litólico; RY: Neossolo Flúvico; Nat: Nativa; Euc: Eucalipto.

TABELA 3 Coeficientes utilizados para realização de cada contraste

Tratamento	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1	2	4	4	0	0	0	0	0	0	0
2	2	4	-1	1	1	0	0	0	0	0
3	2	4	-1	1	-1	0	0	0	0	0
4	2	4	-1	-1	0	1	0	0	0	0
5	2	4	-1	-1	0	-1	0	0	0	0
6	2	-5	0	0	0	0	1	1	0	0
7	2	-5	0	0	0	0	1	-1	0	0
8	2	-5	0	0	0	0	-1	0	1	0
9	2	-5	0	0	0	0	-1	0	-1	0
10	-9	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11	-9	0	0	0	0	0	0	0	0	-1

Os atributos físicos e químicos foram avaliados como indicadores da qualidade do solo em relação a cada tratamento estudado e o contraste definido de acordo com o grau de importância das situações em relação à recarga de água no solo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação aos atributos físicos avaliados, a condutividade hidráulica do solo saturado e a microporosidade do solo não tiveram resultados significativos, ou seja, não ocorreram diferenças em relação a esses atributos para os tratamentos avaliados (Tabela 4).

A condutividade hidráulica do solo saturado apresentou baixos valores e elevado coeficiente de variação (CV) (tabela 3). Os menores valores de condutividade hidráulica do solo saturado estão relacionados à baixa macroporosidade do solo, que por sua vez é reduzido devido ao manejo incorreto e degradação do solo na região (Tabela 4).

A microporosidade do solo é responsável pelo armazenamento de água no solo. Richards (1965) classifica o diâmetro dos microporos como aqueles inferiores 0,05 mm. A microporosidade nos solos estudados foi alta enquanto que a macroporosidade foi baixa, isto ocorreu por se tratar de solos, em sua maioria, sob manejo inadequado. A baixa macroporosidade implica numa baixa infiltração de água no solo (Tabela 5).

TABELA 4 Valores médios e teste F para os atributos físicos: condutividade hidráulica do solo saturado, diâmetro médio geométrico sem pré-umedecimento, densidade do solo e umidade gravimétrica.

Tratamento	k_{sat} mm h ⁻¹	DMG _{SP} -----mm-----	DS -g cm ⁻³ -	U kg kg ⁻¹
1	1,07	3,538	1,28	0,42
2	0,25	4,078	1,24	0,33
3	2,48	4,013	1,24	0,40
4	0,63	4,131	1,22	0,31
5	1,28	2,424	1,16	0,10
6	9,34	3,707	1,14	0,39
7	5,18	3,923	1,06	0,40
8	4,82	4,133	1,19	0,41
9	7,09	3,736	1,10	0,36
10	3,88	2,764	0,96	0,41
11	0,84	1,935	1,11	0,48
Fc	1,32 ^{ns}	3,91*	4,09*	7,28*
CV(%)	197,86	20,01	8,63	18,51

k_{sat} : Condutividade hidráulica do solo saturado; DMG_{s/p}: Diâmetro médio geométrico sem pré-umedecimento; DS: Densidade do solo; U: Umidade gravimétrica; CV: Coeficiente de variação; Fc: Valor de F calculado a 5% de significância; e*: Valor de F significativo a 5%; e^{ns}: Valor de F não significativo a 5% de significância.

TABELA 5 Valores médios e teste de F para os atributos físicos: volume total de poros, microporos e macroporos.

Tratamento	VTP	-----cm ³ cm ⁻³ -----	
		Micro	Macro
1	0,45	0,39	0,06
2	0,46	0,41	0,05
3	0,45	0,41	0,04
4	0,45	0,39	0,06
5	0,53	0,46	0,07
6	0,48	0,41	0,07
7	0,54	0,33	0,20
8	0,48	0,42	0,06
9	0,52	0,39	0,12
10	0,58	0,42	0,16
11	0,52	0,42	0,09
Fc	3,11*	1,15 ^{ns}	5,54*
CV(%)	10,93	15,37	64,03

VTP: Volume total de poros; Micro: Microporos; Macro: Macroporos; CV: Coeficiente de variação; Fc: Valor de F calculado a 5% de significância; e*: Valor de F significativo a 5%; e^{ns}: Valor de F não significativo a 5% de significância.

Para o diâmetro médio geométrico (DMG) avaliado sem pré-umedecimento o contraste I foi significativo. O DMG_{sp} foi maior em solos não expostos, sendo maior em até 1,39 mm. O contraste VI, significativo, corresponde ao tipo de Neossolo presente, dentre eles, o Neossolos Litólico é o que apresenta maior DMG, podendo ser maior em até 1,71 mm (Tabela 6).

O DMG_{sp} foi maior em solos cobertos por vegetação, já que a matéria orgânica é importante na agregação do solo. Estudos de agregação do solo evidenciam a contribuição da matéria orgânica do solo na a estabilidade dos agregados, a qual se apresenta em maior concentração nos sistemas naturais (Silva et al., 1998; Silva et al. 2000; Beutler et al., 2001b; D'Andréa et al., 2002a).

Para a densidade do solo (Ds), os contrastes I, II e X foram significativos. Para o contraste I, relacionado à exposição do solo, a densidade do solo foi maior em solos que apresentam cobertura vegetal, sendo maior em até $0,15 \text{ g cm}^{-3}$. Para o contraste II, relacionado ao tipo de cobertura vegetal presente, a densidade do solo foi maior em solos cobertos por pastagens que nos solos cobertos por mata. A densidade do solo em pastagens foi maior em até $0,10 \text{ g cm}^{-3}$. Para o contraste X, relacionado à presença de palha de milho, estes solos possuem densidade do solo maior em até $0,16 \text{ g cm}^{-3}$ que os solos expostos que não são cobertos com palha de milho. Para os contrastes, III, IV, V, VI, VII, VIII e IX os resultados não foram significativos, não havendo diferenças entre os valores de densidade do solo para os tratamentos estudados (Tabela 6).

A densidade do solo foi maior em solos cobertos por pastagens. Pesquisas mostram menores valores de densidade do solo sob mata nativa em comparação a outras áreas (Martins et.al., 2002) e maiores valores quando se realiza o preparo do solo para implantação da cultura (Seixas et.al., 1998). Também se verificou aumento na densidade do solo em solos expostos cobertos com palha de milho em relação aos sem palha. Para a maioria das culturas, densidades do solo superiores a $1,5 \text{ kg dm}^{-3}$ afetam seu desenvolvimento (Fernandez, 1987). Para os solos estudados, não foram encontrados valores de densidade superiores a este valor, o que facilita a implantação de práticas conservacionistas vegetativas para melhorar a infiltração de água no solo.

TABELA 6 Valores de estimativa por contraste, variância e F calculado para os atributos físicos diâmetro médio geométrico sem pré-umedecimento e densidade do solo.

Variável	Contraste	\hat{Y}/C	S^2	Fc
DMG _{sp}	I	1,39	0,08	25,69*
	II	-	0,06	1,02 ^{ns}
	III	-	0,15	0,1 ^{ns}
	IV	0,77	0,12	4,77*
	V	-	0,25	0,02 ^{ns}
	VI	1,71	0,25	11,79*
	VII	-	0,12	0,12 ^{ns}
	VIII	-	0,25	0,19 ^{ns}
	IX	-	0,25	0,64 ^{ns}
	X	-	0,25	2,78 ^{ns}
DS	I	0,15	0,001	15,99*
	II	0,10	0,001	10,65*
	III	-	0,002	1,49 ^{ns}
	IV	-	0,002	1,22 ^{ns}
	V	-	0,005	0,004 ^{ns}
	VI	-	0,005	0,7 ^{ns}
	VII	-	0,002	0,97 ^{ns}
	VIII	-	0,005	1,36 ^{ns}
	IX	-	0,005	1,64 ^{ns}
	X	-0,16	0,005	5,36*

DMG_{sp}: Diâmetro médio geométrico sem pré-umedecimento; DS: Densidade do solo; \hat{Y}/C : Estimativa dividida pelo contraste; S^2 : Variância; Fc: Valor de F calculado a 5% de significância; e*: Valor de F significativo a 5%; e^{ns}: Valor de F não significativo a 5% de significância.

Em relação ao volume total de poros (VTP), os contrastes I, II e VI foram significativos. Os solos que possuem cobertura vegetal apresentaram VTP em até 0,06 cm³cm⁻³ maior que no solo exposto, sendo que o maior valor de VTP observado foi para os solos cobertos com mata (Tabela 7).

Solos cobertos com mata possuem maior VTP por apresentarem maior teor de matéria orgânica em relação aos solos expostos. Maior teor de matéria

orgânica confere ao solo maior agregação que por sua vez, influencia no aumento do VTP. Os Neossolos Flúvicos são solos arenosos.

A presença de macroporos nos solos com cobertura vegetal foi maior em até $0,05 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ do que nos solos expostos, sendo que, o número de macroporos foi maior nos solos sob mata em até $0,04 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ em relação às demais coberturas vegetais (Tabela 7).

Bertol & Santos (1995), estudando alterações em atributos físico-hídricos do solo relatam que, em geral, solos intensamente cultivados apresentam camadas compactadas, com redução do volume de macroporos e aumento de microporos, determinando uma diminuição do volume de poros ocupados por ar e um aumento na retenção de água. Em decorrência disso, observa-se uma diminuição na taxa de infiltração de água no solo, com conseqüente aumento das taxas de escoamento superficial e erosão hídrica (Schick et al. 2000). A redução da taxa de infiltração de água no solo é a propriedade que melhor reflete o grau de degradação do sistema poroso do solo.

TABELA 7 Valores de estimativa por contraste, variância e F calculado para os atributos físicos volume total de poros e macroporos.

Variável	Contraste	\bar{Y}/C	S^2	Fc
VTP	I	0,06	0,0004	10,23*
	II	-0,04	0,0003	4,84*
	III	-	0,0008	0,75 ^{ns}
	IV	-	0,0006	2,36 ^{ns}
	V	-	0,001	0,11 ^{ns}
	VI	0,08	0,01	5,10*
	VII	-	0,0006	0,09 ^{ns}
	VIII	-	0,001	2,27 ^{ns}
	IX	-	0,001	0,80 ^{ns}
	X	-	0,001	2,56 ^{ns}
MACRO	I	0,05	0,0004	5,35*
	II	-0,06	0,0003	12,53*
	III	-	0,0008	0,00 ^{ns}
	IV	-	0,0006	0,56 ^{ns}
	V	-	0,001	0,13 ^{ns}
	VI	-	0,001	0,20 ^{ns}
	VII	-	0,0006	2,68 ^{ns}
	VIII	-	0,001	15,11 ^{ns}
	IX	-	0,001	2,89 ^{ns}
	X	-	0,001	3,27 ^{ns}

VTP: Volume total de poros; MACRO: Macroporos; \bar{Y}/C : Estimativa dividida pelo contraste; S^2 : Variância; Fc: Valor de F calculado a 5% de significância; e*: Valor de F significativo a 5%; e^{ns}: Valor de F não significativo a 5% de significância.

A umidade gravimétrica nos solos cobertos por vegetação foi de até 0,10 kg kg⁻¹ maior que nos solos expostos e maior em até 0,08 kg kg⁻¹ nos solos cobertos por mata. Para o contraste IV, relacionado à presença de horizonte B, a umidade foi maior em solos com horizonte B. A umidade do solo neste pode ser maior em até 0,16 kg kg⁻¹. Para o contraste V, relacionado ao tipo de solo, a umidade do solo foi maior em Argissolos, comparando-se com Cambissolos. A umidade do solo para o Argissolo foi maior em até 0,07 kg kg⁻¹. Para o contraste

VI, relacionado ao tipo de solo (Neossolo Litólico ou Neossolo Flúvico), a umidade do solo, para estes solos foi maior em Neossolos Litólicos em até 0,22 kg kg⁻¹. Para os contrastes VII, VIII, IX e X os resultados não foram significativos, não havendo diferenças entre os valores de umidade para os tratamentos estudados (Tabela 8).

A umidade gravimétrica é um estimador utilizado a se saber qual a capacidade que determinado solo tem de armazenar água.

As pastagens degradadas apresentam menor umidade gravimétrica o que se caracteriza como reflexo do manejo inadequado aplicado às áreas de pastagens, potencializando perdas de água no sistema.

Os elevados teores de umidade gravimétrica nos solos sem cobertura vegetal indicam o acúmulo de água nestes.

TABELA 8 Valores de estimativa, variância e F calculado para o atributo físico umidade gravimétrica.

Variável	Contraste	\hat{Y}	\hat{Y}/C	S^2	Fc
Umidade	I	1,80	0,10	0,0006	15,41*
	II	-1,16	-0,08	0,0005	12,88*
	III	-0,52	-0,13	0,001	14,09*
	IV	0,32	0,16	0,001	25,36*
	V	-0,07	-0,07	0,002	2,22*
	VI	0,22	0,22	0,002	22,89*
	VII	-	-	0,01	0,20*
	VIII	-	-	0,02	0,09 _{ns}
	IX	-	-	0,02	1,14 _{ns}
	X	-	-	0,02	2,87 _{ns}

\hat{Y} : Estimativa; \hat{Y}/C : Estimativa dividida pelo contraste; S^2 : Variância; Fc: Valor de F calculado a 5% de significância; e*: Valor de F significativo a 5%; e^{ns}: Valor de F não significativo a 5% de significância.

O agrupamento textural constitui elemento fundamental para identificação e classificação de um solo, pois é um atributo que apresenta características físicas estáveis, sendo pouco dependente do uso e manejo do solo (Egushi et al., 2002).

Em geral, as propriedades químicas do solo, com exceção do pH, apresentam maior variação que as propriedades físicas (Coelho, 1983). Desse modo, é necessária uma análise criteriosa dos atributos químicos do solo para os tratamentos avaliados.

Em relação aos atributos químicos avaliados, somente os teores de potássio (K) no solo não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos estudados (Tabela 10). Os teores de K na sub-bacia das Posses foram considerados de baixos a altos (Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSMG, 1999).

Os teores de fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), matéria orgânica (MO), alumínio (Al), capacidade de troca catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T) e índice de saturação por bases (V), foram significativos em relação aos tratamentos estudados (Tabelas 10 e 11).

TABELA 9 Valores médios e teste de F para os atributos químicos: fósforo, potássio, cálcio, magnésio e matéria orgânica.

Tratamento	P	K	Ca	Mg	MO
	--mg dm ⁻³ --		--cmol _c dm ⁻³ --		dag kg ⁻¹
1	1,37	116,33	0,83	0,60	2,67
2	2,76	121,17	1,43	0,70	3,89
3	2,83	87,11	1,81	0,81	3,97
4	1,78	105,83	2,55	0,78	4,42
5	58,33	95,67	1,87	0,70	1,47
6	2,40	134,11	4,50	1,63	5,78
7	3,27	87,17	0,63	0,53	4,62
8	1,97	209,67	4,13	1,27	4,33
9	2,45	62,17	0,68	0,57	3,67
10	67,90	137,00	1,57	0,87	3,13
11	3,80	87,00	2,70	0,63	3,53
Fc	14,21*	1,31 ^{ns}	2,61*	2,74*	4,77*
CV(%)	142,48	62,97	96,12	62,67	27,6

P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; MO: Matéria orgânica; Fc: Valor de F calculado a 5% de significância; e*: Valor de F significativo a 5%; e^{ns}: Valor de F não significativo a 5% de significância.

TABELA 10 Valores médios e teste de F para os atributos químicos: alumínio, capacidade de troca catiônica efetiva, capacidade de troca catiônica a pH 7,0 e índice de saturação de bases.

Tratamento	Al	t	T	V
	-----cmol _c dm ⁻³ -----			%
1	0,43	2,20	7,07	23,70
2	0,61	3,06	9,42	26,90
3	0,59	3,44	10,30	27,48
4	0,35	3,97	10,08	35,78
5	0,20	3,00	5,83	48,57
6	0,79	7,26	16,98	35,20
7	2,18	3,58	17,63	7,88
8	0,10	6,03	10,30	57,63
9	1,42	2,83	12,00	12,27
10	0,97	3,77	12,33	22,80
11	0,53	4,07	13,10	27,30
Fc	10,62*	2,78*	13,47*	5,34*
CV(%)	53,29	56,70	19,86	45,91

Al: Alumínio; t: Capacidade de troca catiônica efetiva; T: Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V: Índice de saturação de bases; Fc: Valor de F calculado a 5% de significância; e*: Valor de F significativo a 5%; e^{ns}: Valor de F não significativo a 5% de significância.

Considerando os teores de fósforo (P) avaliados, os contrastes I, II, III, IV, VI e X foram significativos. Em relação ao contraste I, relacionado à exposição do solo, o teor de P foi maior nos solos expostos. O teor de P em solos descobertos foi superior em até 27,28 mg dm⁻³ em relação aos solos não expostos. Para o contraste II, relacionado ao tipo de cobertura presente, o teor de P foi superior em até 10,89 mg dm⁻³ nas pastagens. Para o contraste III, relacionado à especificação da pastagem em relação à degradação, o teor de P foi maior na pastagem não degradada. O teor de P nas pastagens não degradadas foi superior em até 15,06 mg dm⁻³ em relação à pastagem degradada. Para o contraste X, relacionado à presença de palha de milho no solo exposto, o teor de P foi superior em até 64,10 mg dm⁻³ nos solos que não estão cobertos com palha

de milho. Para os contrastes V, VII, VIII e IX os resultados não foram significativos, não havendo diferenças entre os teores de P para os tratamentos estudados (Tabela 12).

Os tratamentos que apresentaram alto teor de fósforo foram o tratamento 5 e 10, Neossolo Flúvico coberto por Pastagem não degradada e Solo exposto sem palha de milho, respectivamente. Os demais tratamentos apresentaram baixos teores de fósforo no solo (CFSMG, 1999). A presença de pastagem não degradada também contribuiu para um elevado teor de P na solução do solo devido à presença de matéria orgânica já que esta pode aumentar a superfície de adsorção dos óxidos, o que aumenta a adsorção do P (Gatiboni, 2003). O elevado coeficiente de variação (CV) do teor de P está relacionado à grande variação dos teores desse nutriente na área amostrada.

Para os teores de Cálcio (Ca) avaliados, os contrastes VIII e IX foram significativos. Para o contraste VIII, relacionado ao tipo de solo presente sob mata nativa, o teor de Ca foi superior em até $3,87 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ nos Neossolos Litólicos.

Para o contraste IX, relacionado ao tipo de solo presente sob mata plantada de eucalipto, o teor de Ca foi superior em até $3,45 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em Argissolos. Para os contrastes I, II, III, IV, V, VI, VII e X os resultados não foram significativos, não havendo diferença entre os teores de Ca no solo para os tratamentos estudados (Tabela 12).

Em relação ao cálcio estudado, solos sob mata foram os que apresentaram maiores teores de cálcio, tanto mata nativa quanto povoamento de eucalipto. Este fato deve-se principalmente à maior presença da matéria orgânica nestes solos. As pastagens da região já sofreram alto nível de degradação, o que contribuiu para o empobrecimento do solo. A deficiência de cálcio é um dos principais fatores limitante na produtividade das culturas (Richey et al., 1983).

Para o teor de Magnésio (Mg) avaliado, o contraste VIII foi significativo. O contraste VIII está relacionado ao tipo de solo presente sob mata nativa. O teor de Mg foi superior em até $1,10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em Neossolos Litólicos. Para os contrastes I, II, III, IV, V, VI, VII, IX e X os resultados não foram significativos, não havendo diferença entre os teores de Mg no solo para os tratamentos estudados (Tabela 12).

Os maiores teores de magnésio foram encontrados em matas nativas sob Neossolo Litólico. Solos arenosos com baixo teor de matéria orgânica e ácidos, em geral possuem baixos teores de magnésio. O uso da calagem nas áreas cultiváveis da sub-bacia das Posses tende a criar uma nova situação em que o solo poderá apresentar altos teores de magnésio bem como de cálcio, tornando o solo mais fértil e apto ao crescimento de cobertura vegetal.

TABELA 11 Valores de Estimativa por contraste, Variância e F calculado para os atributos químicos fósforo, cálcio e magnésio.

Variável	Contraste	\hat{Y}/C	S^2	Fc
P	I	-27,28	19,38	38,38*
	II	10,89	14,27	8,32*
	III	-15,06	39,65	5,72*
	IV	-27,26	25,30	23,43*
	V	-	63,44	0,00 ^{ns}
	VI	-56,55	63,44	50,41*
	VII	-	31,72	0,01 ^{ns}
	VIII	-	63,44	0,01 ^{ns}
	IX	-	63,44	0,004 ^{ns}
	X	64,10	63,44	64,77*
Ca	I	-	0,54	0,01 ^{ns}
	II	-	0,40	1,55 ^{ns}
	III	-	1,11	1,05 ^{ns}
	IV	-	0,89	0,39 ^{ns}
	V	-	1,78	0,08 ^{ns}
	VI	-	1,78	0,26 ^{ns}
	VII	-	0,89	0,03 ^{ns}
	VIII	3,87	1,78	8,39*
	IX	3,45	1,78	6,68*
	X	-	1,78	0,72 ^{ns}
Mg	I	-	0,04	0,23 ^{ns}
	II	-	0,03	2,74 ^{ns}
	III	-	0,08	0,28 ^{ns}
	IV	-	0,06	0,003 ^{ns}
	V	-	0,13	0,10 ^{ns}
	VI	-	0,13	0,05 ^{ns}
	VII	-	0,06	0,43 ^{ns}
	VIII	1,10	0,13	9,43*
	IX	-	0,13	3,82 ^{ns}
	X	-	0,13	0,42 ^{ns}

P: Fósforo; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; \hat{Y}/C : Estimativa dividida pelo contraste; S^2 : Variância; Fc: Valor de F calculado a 5% de significância; e*: Valor de F significativo a 5%; e^{ns}: Valor de F não significativo a 5% de significância.

Em relação à matéria orgânica (MO) avaliado, os contrastes II, VI e VII foram significativos. Para o contraste II, relacionado ao tipo de cultura presente,

o teor de matéria orgânica foi superior em até 1,32 dag kg⁻¹ nos solos sob mata. Para o contraste VI, relacionado ao tipo de Neossolo presente, o teor de MO foi superior em até 2,95 dag kg⁻¹ em Neossolos Litólicos. Para o contraste VII, relacionado ao tipo de mata presente, o teor de MO foi superior em até 1,20 dag kg⁻¹ em solos sob mata nativa. Para os contrastes I, III, IV, V, VIII, IX e X os resultados não foram significativos, não havendo diferença entre os teores de MO no solo para os tratamentos estudados (Tabela 13).

O teor de matéria orgânica é um dos atributos químicos mais importantes, pois este é responsável por reter e complexar nutrientes na camada superficial do solo (Oliveira et al., 1999), como o fósforo, cálcio e magnésio, entre outros. O teor de matéria orgânica em relação aos tratamentos estudados foi maior nos solos sob mata devido à deposição de matéria seca das matas no solo. O pisoteio de gado nas pastagens elimina grande parte da matéria orgânica e conseqüentemente de outros nutrientes como o cálcio, fósforo e magnésio (Oliveira et al., 1999).

Para os teores de Alumínio (Al) avaliados, os contrastes II, VII, VIII e IX foram significativos. Para o contraste II, relacionado ao tipo de cultura presente, o teor de Al foi superior em até 0,69 cmol_c dm⁻³ nos solos sob pastagem. Para o contraste VII, relacionado ao tipo de mata presente, o teor de Al foi superior em até 0,73 cmol_c dm⁻³ em solos sob mata nativa. Em relação ao contraste VIII, relacionado ao tipo de solo sob mata nativa, o teor de Al foi superior em até 1,39 cmol_c dm⁻³ em Cambissolos. Para o contraste IX, relacionado ao tipo de solo sob mata plantada de eucalipto, o teor de Al foi superior em até 1,32 cmol_c dm⁻³ em Cambissolos.

Os contrastes I, III, IV, V, VI e X os resultados não foram significativos, não havendo diferença entre os teores de Al no solo para os tratamentos estudados (Tabela 13).

Em estudos elaborados por Oliveira et.al., (1999) verificou-se em estudos, que quando o teor de matéria orgânica não é suficiente para complexar e reter os nutrientes na camada superficial do solo, estes são carregados pelas chuvas ocorrendo aumento no teor de alumínio na área. A toxicidade de alumínio é um dos principais fatores limitantes na produtividade das culturas (Richey, 1983). Dessa maneira nota-se que, neste trabalho, os maiores teores de alumínio foram encontrados nos tratamentos onde os teores de cálcio, magnésio, fósforo e matéria orgânica foram baixos.

Para a capacidade de troca catiônica efetiva (t) avaliada, os contrastes II, VIII e IX foram significativos. Para o contraste II, relacionado ao tipo de cobertura presente, a capacidade de troca catiônica efetiva foi superior em até $1,79 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em solos sob mata. Para o contraste VIII, relacionado ao tipo de solo sob mata nativa, a “t” foi superior em até $4,25 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em Neossolos Litólicos. Para o contraste IX, relacionado ao tipo de solo sob mata plantada de eucalipto, a “t” foi superior em até $3,20 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em Argissolos. Para os contrastes I, III, IV, V, VI, VII e X os resultados não foram significativos, não havendo diferença entre a capacidade de troca catiônica efetiva no solo para os tratamentos estudados (Tabela 13).

Como a capacidade de troca catiônica (CTC) está associada à fração argila, solos argilosos possuem maior CTC que aqueles arenosos. Solos com maior teor de matéria orgânica possuem maior CTC.

A troca catiônica efetiva é favorecida pela matéria orgânica que retém os nutrientes na superfície do solo. A implantação e manutenção de cobertura vegetal nas áreas degradadas, bem como o cercamento de matas ciliares para recuperação da vegetação são importantes ações para aumentar a ciclagem de nutrientes do solo e aumentar capacidade de troca catiônica efetiva deste, contribuindo para um aumento da capacidade de infiltração do solo.

TABELA 12 Valores de Estimativa por contraste, Variância e F calculado para os atributos químicos matéria orgânica, alumínio e capacidade de troca catiônica efetiva.

Variável	Contraste	\hat{Y}/C	S^2	Fc
MO	I	-	0,17	1,65 ^{ns}
	II	-1,32	0,13	13,64*
	III	-	0,35	1,67 ^{ns}
	IV	-	0,28	3,45 ^{ns}
	V	-	0,57	0,01 ^{ns}
	VI	2,95	0,57	15,40*
	VII	1,20	0,28	5,07*
	VIII	-	0,57	2,39 ^{ns}
	IX	-	0,57	0,79 ^{ns}
	X	-	0,57	0,28 ^{ns}
Al	I	-	0,02	0,003 ^{ns}
	II	-0,69	0,02	25,92*
	III	-	0,05	0,00 ^{ns}
	IV	-	0,04	2,60 ^{ns}
	V	-	0,08	0,005 ^{ns}
	VI	-	0,08	0,28 ^{ns}
	VII	0,73	0,04	13,12*
	VIII	-1,39	0,08	24,09*
	IX	-1,32	0,08	21,48*
	X	-	0,08	2,33 ^{ns}
t	I	-	0,71	0,00 ^{ns}
	II	-1,79	0,52	6,15*
	III	-	1,45	0,94 ^{ns}
	IV	-	1,16	0,05 ^{ns}
	V	-	2,32	0,06 ^{ns}
	VI	-	3,32	0,40 ^{ns}
	VII	-	1,16	0,84 ^{ns}
	VIII	3,67	2,32	5,81*
	IX	3,20	2,32	4,41*
	X	-	2,32	0,04 ^{ns}

MO: Matéria orgânica; Al: Alumínio; t: Capacidade de troca catiônica efetiva; \hat{Y}/C : Estimativa dividida pelo contraste; S^2 : Variância; Fc: Valor de F calculado a 5% de significância; e*: Valor de F significativo a 5%; e^{ns}: Valor de F não significativo a 5% de significância.

Para a capacidade de troca catiônica a pH 7 (T) avaliada, os contrastes II, VI e VII foram significativos. Para o contraste II, relacionado ao tipo de cobertura presente, a capacidade de troca catiônica a pH 7 foi superior em até 5,69 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ em solos sob pastagem. Para o contraste VI, relacionado ao tipo de Neossolo presente, a “T” foi superior em até 4,25 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ em Neossolos Litólicos. Para o contraste VII, relacionado à especificação da mata, a “T” foi superior em até 6,16 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ em matas nativas. Para os contrastes I, III, IV, V, VIII, IX e X os resultados não foram significativos, não havendo diferença entre a capacidade de troca catiônica a pH 7 no solo para os tratamentos estudados (Tabela 14).

Para o índice de saturação por bases (V) avaliado, os contrastes IV, VII, VIII e IX foram significativos. Para o contraste IV, relacionado ao tipo de Neossolo presente, o índice de saturação de bases foi superior em até 14,99% nos Neossolos Flúvicos. Para o contraste VII, relacionado ao tipo de mata presente, o índice de saturação de bases foi superior em até 13,41% em matas plantadas de eucalipto. Para o contraste VIII, relacionado ao tipo de solo sob mata nativa o “V” foi superior em até 27,32% em Neossolos Litólicos. Para o contraste IX, relacionado ao tipo de solo sob mata plantada de eucalipto, o “V” foi superior em até 45,37% em Argissolos. Para os contrastes I, II, III, V, VI e X os resultados não foram significativos, não havendo diferença para o índice de saturação de bases nos solos para os tratamentos estudados (Tabela 14).

O índice de saturação por bases dos tratamentos estudados foi maior para mata plantada de eucalipto sob Argissolo e para pastagem não degradada sob Neossolo Flúvico. Os Neossolos Flúvicos, em relação à posição na paisagem encontram-se no terço inferior da encosta. Dessa maneira, há depósito de sedimento em sua superfície. Como a presente área de estudo trata-se de uma área degradada, onde ocorre a perda de nutrientes, o maior índice de saturação por bases dos Neossolos Flúvicos é explicado pelo acúmulo de nutrientes

providos dos solos presentes nos terços médios e superiores da sub-bacia, e também às características intrínsecas a essa classe de solo como o alto teor de matéria orgânica. A saturação por bases na camada sub-superficial reflete o ambiente que interfere no desenvolvimento radicular em profundidade das plantas, além de ser considerados na classificação de solos (Richey et al., 1983). A ocorrência de valores de saturação por bases menor que 50% nos solos estudados, foi freqüente como consequência da variação dos teores de cálcio e alumínio (Prado, 2004), e também pela baixa capacidade de retenção de cátions nos solos estudados.

Os atributos químicos no solo interferem diretamente na produção e manutenção da cobertura vegetal. Em relação ao uso do solo na sub-bacia das Posses, áreas de pastagens, que correspondem a 73% da área, devem receber atenção especial quanto aos teores e a dinâmica dos nutrientes no solo para aumentar a cobertura vegetal, diminuir o escoamento superficial e aumentar a infiltração de água no solo. Em relação às matas nativas, a dinâmica dos nutrientes é controlada pela deposição de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes.

TABELA 13 Valores de Estimativa por contraste, Variância e F calculado para os atributos químicos capacidade de troca catiônica a pH 7,0 e índice de saturação de bases.

Variável	Contraste	\hat{Y}/C	S^2	Fc
T	I	-	0,75	3,61 ^{ns}
	II	-5,69	0,55	58,35*
	III	-	1,54	2,20 ^{ns}
	IV	-	1,23	2,93 ^{ns}
	V	-	2,46	0,32 ^{ns}
	VI	4,25	2,46	7,33*
	VII	6,16	1,23	30,76*
	VIII	-	2,46	0,17 ^{ns}
	IX	-	2,46	1,17 ^{ns}
	X	-	2,46	0,24 ^{ns}
V	I	-	22,66	1,36 ^{ns}
	II	-	16,68	1,08 ^{ns}
	III	-	46,35	2,60 ^{ns}
	IV	-14,99	37,08	6,06*
	V	-	74,15	0,005 ^{ns}
	VI	-	74,15	2,20 ^{ns}
	VII	-13,41	37,08	4,85*
	VIII	27,32	74,15	10,06*
	IX	45,37	74,15	27,76*
	X	-	74,15	0,27 ^{ns}

T: Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V: Índice de saturação de bases; \hat{Y} : Estimativa; \hat{Y}/C : Estimativa dividida pelo contraste; S^2 : Variância; Fc: Valor de F calculado a 5% de significância; e*: Valor de F significativo a 5%; e^{ns}: Valor de F não significativo a 5% de significância.

6 CONCLUSÕES

A condutividade hidráulica de solo saturado para a sub-bacia das Posses foi baixa devido a classe de solo e ao uso intensivo por pastagens na região.

Os baixos teores de nutrientes nos solos estudados indicaram baixa fertilidade do mesmo.

Os atributos físicos e químicos do solo sofreram variação quanto ao uso e classe de solo, bem como em relação ao estado de degradação da cobertura vegetal sobre o mesmo.

Os atributos físicos e químicos estão relacionados e atuam de maneira conjunta quando se trata de classificar o solo em degradado.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Programa produtor de água superintendência de usos múltiplos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2008.

ALCÂNTARA, E. N.; FERREIRA, M. M. Efeitos de métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sobre a qualidade física do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 4, p. 711-721, out./dez. 2000.

ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 4, p. 933-9422, out./dez. 1999.

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 319-326, maio/ago. 1996.

AMUNDSON, R.; JENNY, H. The place of humans in the state factor theory of ecosystems and their soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 151, n. 1, p. 99-109, Jan. 1991.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Society of America, 1996. p. 123-141.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F. A. de O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. cap. 2, p. 9-26.

BECKETT, P. H. T.; WEBSTER, R. Soil variability: a review. **Soils and Fertilizers**, Farnham Royal, v. 34, n. 1, p. 1-15, Jan. 1971.

BELTRAME, L. F. S.; GONDIM, L. A. P.; TAYLOR, J. C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 5, n. 3, p. 145-149, set./dez. 1981.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A. de; ALMEIDA, E. X.; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-Elefante-Anão C.V. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 5, p. 1047-1054, maio 2000.

BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 555-560, jul./set. 2001.

BERTOL, I.; SANTOS, J. C. P. Uso do solo e propriedades físico-hídricas no Planalto Catarinense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 2, p. 263-267, fev. 1995.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 167-177, jan./mar. 2001a.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. Agregação de Latossolo Vermelho distrófico típico relacionada com o manejo na região dos cerrados no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 129-136, jan./mar. 2001b.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v. 1, p. 363-375.

BUCKMAN, H. O.; BRADY, C. A. **Natureza e propriedades dos solos**. 4. ed. São Paulo: Freitas Bastos, 1989. 594 p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG, 1999. 359 p.

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

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

CARVALHO JÚNIOR, I. A.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M. Modificações causadas pelo uso e a formação de camadas compactadas e, ou, adensadas em um Latossolo Vermelho-Escuro textura média na região do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 3, p. 505-514, jul./set. 1998.

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

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

COELHO, M. G. Variabilidade espacial de características físicas e químicas em um solo salino-sódico. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 14, n. 1/2, p. 149-156, jun. 1983.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. W.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 425-432, abr./jun. 1999.

CORRÊA, J. C. Efeito de métodos de cultivo em algumas propriedades físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso do Estado do Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 11, p. 1317-1322, nov. 1985.

D'ANDRÉA, A. F. **Atributos indicadores de qualidade do solo em sistemas de manejo no sul de Goiás**. 2001. 106 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade federal de Lavras, Lavras.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos cerrados no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 1047-1054, out./dez. 2002.

DA ROS, C. O.; SECCO, D.; FIORIN, J. E.; PETRERE, C.; CADORE, M. A.; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 241-247, abr./jun. 1997.

DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. I: physical and mineralogical methods. Madison: American Society of Agronomy/ Soil Science Society of America, 1986. p. 443-461.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v. 1, p. 545-566.

EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L. da; OLIVEIRA, M. S. de. Variabilidade espacial da textura e da densidade de partículas em um solo aluvial no Município de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 242-246, maio/ago. 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura/EMBRAPA/CNPS, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: CNPS, 2006. 94 p.

FERNANDEZ, B. M. **Prática de física do solo**: programa de treinamento e capacitação de recursos humanos em agricultura irrigada. Mossoró: Escola Superior de Agricultura de Mossoró, 1987. 98 p.

FERREIRA, D. F. **Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas**. Lavras: UFLA, 2000. 66 p.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 3, p. 515-524, jul./set. 1999.

FONSECA, S. **Propriedades físicas, químicas e microbiológicas de um Latossolo Vermelho Amarelo sob eucalipto, mata natural e pastagem**. 1984. 78 p. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Planta) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 2003. 247 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Santa Maria.

GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S. Relações entre propriedades físicas e características de solos da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 885-893, out./dez. 2002.

GOMES, N. M. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela na Região do Alto Rio Grande, MG**. 2005. 124 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

GROHMANN, F. Análise de agregados do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 19, n. 13, p. 201-214, mar. 1960.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C. A. **Methods of soil analysis: part 1**. Madison: ASA, 1965. cap. 39, p. 499-510.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis, part 1: physical and mineralogical methods**. 2. ed. Madison: ASA, 1986. p. 425-441.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 857-867, out./dez. 2002.

KLUTE, A. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In: _____. **Methods of soil analysis I: physical and mineralogical properties**, including statistics of measurement and sampling. Madison: American Society of Agronomy, 1965. cap. 13, p. 210-221.

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

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

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solos de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1177-1182, jun. 2000.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 32-42, jun. 2002.

MORAES, J. M.; SCHULER, A. E.; GUANDIQUE, M. E. G.; MILDE, L. C.; GROppo, J. D.; MARTINELLI, A. L.; VICTORIA, R. L. Propriedades físicas dos solos na parametrização de um modelo hidrológico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 61-70, jan./mar. 2003.

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

OLIVEIRA, I. P.; KLUTHCOUSKI, J.; YOKOYAMA, L. P.; BALBINO, L. C.; FARIA, M. P.; MAGNABOSCO, C. U.; SCARPATI, M. T. V.; PORTES, T. A.; BUSO, L. H. **Sistema barreira: calagem e gessagem em pastagem degradada**. Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999.

OLIVEIRA, M.; CURI, N.; FREIRE, J. C. Influência do cultivo na agregação de um Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/argilosa da região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 3, p. 317-322, set./dez. 1983.

PEDROTTI, A.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.; SILVA, M. L. N.; LIMA, J. M.; CARVALHO, R. Relação entre atributos físicos, mineralogia da fração argila e formas de alumínio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 1-9, jan./fev. 2003.

PRADO, H.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. Condições químicas dos horizontes sub-superficiais de solos para manejo. **Pedologia Fácil**, São Paulo, 2004. Disponível em: <http://www.pedologiafacil.com.br/artig_2.php>. Acesso em: 20 out. 2009.

RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. **Análise química de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170 p.

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

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ÁLVARES, V. H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

RICHARDS, L. A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society for Testing and Materials, 1965. p. 128-152.

RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E.; SOUZA, D. M. G. Relação entre teor de cálcio no solo e desenvolvimento de raízes avaliado por um método biológico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 7 n. 3, p. 269-275, out. 1983.

ROSA, M. E. C.; OLSZVESKI, N.; MENDONÇA, E. S.; COSTA, L. M.; CORREIA, J. R. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 5, p. 911-923, set./out. 2003.

SCAPINI, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; ZANETTE, A.; SILVA, V. R. Medição da densidade e porosidades do solo pelo método do cilindro e torrão parafinado em sistema de preparo do solo e pastejo animal. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2., 1998, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p. 7-10.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JÚNIOR, A. A. Erosão hídrica em Cambissolo húmico álico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 2, p. 427-436, ago. 2000.

SEIXAS, F.; OLIVEIRA JÚNIOR, E. D. Compactação do solo devido ao tráfego de máquinas de colheita de madeira. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 60, p. 73-87, dez. 2001.

SEIXAS, F.; OLIVEIRA JÚNIOR, E. D.; SOUZA, C. R. Efeito da camada de resíduos na compactação do solo causada pelo transporte primário da madeira. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 54, p. 9-16, dez. 1998.

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

SILVA, M. L. N.; BLANCANEAUX, P.; CURI, N.; LIMA, J. M.; MARQUES, J. J. G. S. M.; CARVALHO, A. M. Estabilidade de resistência de agregados de Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão de milho-adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 1, p. 97-103, jan. 1998.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BLANCANEAUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de um Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2485-2492, dez. 2000.

SMITH, C. M.; JOHNSTON, M. A.; LORENTZ, S. The effect of soil compaction and physical properties on the mechanical resistance of South African forestry soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 78, n. 1/2, p. 93-111, July 1997.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PERREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Influência da pedofoma na variabilidade espacial de alguns atributos físicos e hídricos de um Latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Irriga**, Botucatu, v. 9, n. 1, p. 1-11, jan./abr. 2004.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: J. Wiley, 1994. 496 p.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; NETO, V. L. F. **Recomendação para uso do penetrometro de impacto Modelo IAA/Planalsucar-Stolf**. Araras: MIC/IAA/PNMCA/Planalsucar, 1983.

VIEIRA, M. J.; MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 7, p. 873-882, jul. 1984.

CAPÍTULO 4

CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS E POTENCIALIDADE DE RECARGA DE ÁGUA DO SOLO NA SUB-BACIA DAS POSSES EM EXTREMA (MG)

1 RESUMO

A água é um recurso natural de valor inestimável, considerada como insumo indispensável à produção e essencial para o desenvolvimento econômico. Atividades antrópicas, principalmente, nas áreas de recarga das nascentes, contribuem para o rompimento do equilíbrio, proporcionando especialmente, diminuição da quantidade de água. O uso do solo com pastagem intensiva e sem um manejo adequado tem alterado a paisagem na região sul do estado de Minas Gerais, expondo o solo aos agentes erosivos, modificando as condições de infiltração, propiciando perdas de água e de solo pelo escoamento superficial direto, comprometendo a recarga de água. Desse modo, o presente trabalho teve por objetivo avaliar as características fisiográficas da sub-bacia e avaliar a potencialidade de recarga de água do solo nas Sub-bacias das Posses, área inserida na bacia do Rio Jaguari, município de Extrema, sul do estado de Minas Gerais. As informações sobre a rede de drenagem da sub-bacia das Posses são importantes para caracterizar o relevo da sub-bacia e, juntamente com outros atributos, tais como a classe de solo e cobertura vegetal, ajudam a avaliar o comportamento do escoamento superficial e capacidade de drenagem da bacia. Os resultados indicam que a sub-bacia não está sujeita a grandes enchentes, já que a forma alongada proporciona um fluxo mais distribuído ao longo de todo o canal. Em relação à potencialidade de recarga de água da sub-bacia das Posses, o Neossolo Flúvico e o Cambissolo Húmico apresentaram um alto potencial de recarga. Práticas conservacionistas do solo e da água são medidas necessárias para que a recarga de água da sub-bacia das Posses ocorra.

2 ABSTRACT

Water is a priceless natural resource, regarded as indispensable input for production and essential for the economical development. Anthropogenic activities, mainly, in the areas of water recharge to springs, help to unbalance the equilibrium, resulting in, specifically, reduction the water quantity. The intensive pasture land-use and mismanagement of the soil has altered the landscape of the south of Minas Gerais, exposing the soil to erosion, modifying the infiltration conditions, which results in water and soil losses due to runoff, compromising water recharge. Therefore, the present work aimed to evaluate the sub-basin's physiographic characteristics, and to assess the potential of water recharge in the Hydrograph Sub-basin of Posses, inserted in the Basin of Jaguari, located at Extrema, Minas Gerais, Brazil. Information regarding to drainage network of Sub-basin of Posses are important to characterize the sub-basin relief and, combined with other attributes, such as soil class and vegetal cover, helping to evaluate the runoff behavior as well as the capacity of drainage of Sub-basin of Posses. The results indicate that the sub-basin is not favorable to great floods, since its shape enables the water flow distribution throughout the whole channel. Regarding the potentiality of water recharge in the Sub-basin of Posses, the Fluvic Neosol and the Humic Cambisol present a high potential of water recharge. Soil and water conservative practices are measures necessary to occur water recharge in the sub basin.

3 INTRODUÇÃO

Uma bacia hidrográfica pode ser definida como uma área limitada por um divisor de águas e de contribuição para determinados cursos d'água, nela ocorre a captação da água de precipitação e esta é descarregada através de uma única saída denominada ponto de exutório (Tucci, 1997).

O mapeamento de uma bacia hidrográfica permite o planejamento das atividades rurais e urbanas desta. As bacias têm a área drenada por um rio principal limitado por divisores de água. Consideram-se dados fisiográficos de uma bacia hidrográfica todos aqueles dados que podem ser extraídos de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélite. Basicamente são áreas, comprimentos, declividades e coberturas do solo, medidos diretamente ou expresso por índices (Tucci, 2002).

Devido às suas características intrínsecas, a bacia é uma unidade importante no estudo de atividades ligadas ao uso e conservação dos recursos naturais.

Atividades antrópicas em bacias hidrográficas, principalmente nas áreas de recarga das nascentes, contribuem para o rompimento do equilíbrio, proporcionando especialmente, diminuição da quantidade de água. Estudos sobre o uso e ocupação do solo em áreas de recarga de nascentes são cada vez mais necessários, haja vista que, atualmente, estudos referentes à dinâmica da água em áreas de recarga ainda são bastante escassos. Com estas considerações, ressalta-se a importância de estudos científicos sobre controle ambiental, com aplicação aos estudos de regiões hidrológicas e maior conscientização e envolvimento da sociedade nos desafios referentes à gestão dos recursos hídricos. No caso de nascentes, há notório interesse na preservação e melhoria da qualidade, quantidade e uniformidade na produção de água.

A posição do solo na paisagem também interfere no potencial de recarga de água, pois, solos com maior declive tendem a escoar a água pela superfície e não infiltrar, causando erosão hídrica e perdas de solo. As perdas em relação à declividade podem ser justificadas pelo aumento da capacidade erosiva da enxurrada nos declives mais acentuados, decorrentes do aumento da sua velocidade, conforme Cogo et al. (2003).

Inácio et al., (2007) verificou aumento das perdas de solo com o aumento dos valores das classes de declividade do terreno, principalmente em áreas sem cobertura vegetal. Estes mesmos autores verificaram, dessa maneira, a eficiência da cobertura do solo por pastagem, quanto a erosão em relação ao solo sem cobertura.

O manejo do solo em bacias hidrográficas é a forma mais eficiente de uso dos recursos de uma região, pois visa à preservação e melhoria da quantidade e qualidade da água. O manejo adequado de bacias hidrográficas, notadamente em regiões ambientalmente frágeis, como o Sul de Minas Gerais, é de importância capital para a manutenção do escoamento subterrâneo da mesma, sendo este fundamental na manutenção da perenidade dos cursos d'água, cuja existência é função de condições satisfatórias de recarga de água e por consequência, produção de água nas nascentes. A sub-bacia das Posses, localizada no município de Extrema, MG, é parte da região que compõe o Sistema Cantareira, um dos maiores sistemas de abastecimento público do mundo (Whately & Cunha, 2006). Constitui um ambiente adequado para a caracterização morfométrica, avaliação do relevo e das condições de conservação.

A sub-bacia das Posses tem como uso predominante do solo pastagens degradadas, onde se observa o avanço da erosão laminar e em sulcos. A reduzida cobertura vegetal e o uso incorreto do solo prejudicam uma infiltração satisfatória de água nestes solos, observando-se como resultado a redução da

vazão em nascentes, riachos e rios. Somado a isso, ocorre a degradação dos recursos hídricos pelos sedimentos da erosão.

Desse modo, o presente trabalho teve por objetivo avaliar as características fisiográficas da sub-bacia e avaliar a potencialidade de recarga de água do solo nas Sub-bacias das Posses, área inserida na bacia do Rio Jaguari, município de Extrema, sul do estado de Minas Gerais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A área do estudo possui 1.196,7 hectares e compreende a sub-bacia hidrográfica das Posses, localizada no município de Extrema, ao sul do Estado de Minas Gerais (Figura 1). Esta sub-bacia está inserida na Bacia hidrográfica do Rio Jaguari, um dos rios que abastece o Reservatório do Sistema Cantareira no estado de São Paulo. Situa-se entre as coordenadas UTM 374.500 e 371.500 de longitude E e 7.468.200 e 7.474.800 de latitude S (Datum SAD 69) e entre as altitudes de 1.144 a 1.739 m. O clima na sub-bacia das Posses é do tipo Cwb de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado como mesotérmico de verões brandos e suaves e estiagem de inverno. A temperatura média anual é 18°C, tendo no mês mais quente e no mês mais frio temperaturas médias de 25,6°C e 13,1°C, respectivamente, com ocorrência de geadas anualmente, e precipitação média anual de 1.477 mm (ANA, 2008). A formação geológica da sub-bacia das Posses está representada na Figura 2. Os solos ocorrentes na sub-bacia são os Argissolos Vermelho-Amarelos, Cambissolos Háplicos e Húmicos, Neossolos Litólicos e Neossolos Flúvicos (Figura 3). O relevo corresponde principalmente a áreas de relevo ondulado e forte ondulado (Tabela 1). A Figura 4 representa o mapa de declividade da sub-bacia das Posses.

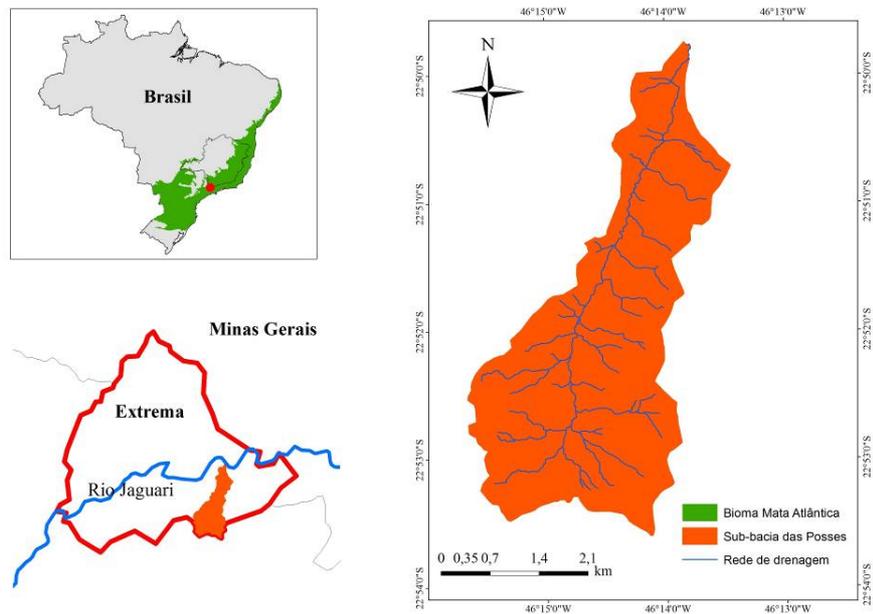


FIGURA 1 Mapa de localização da sub-bacia das Posses, Extrema (MG).

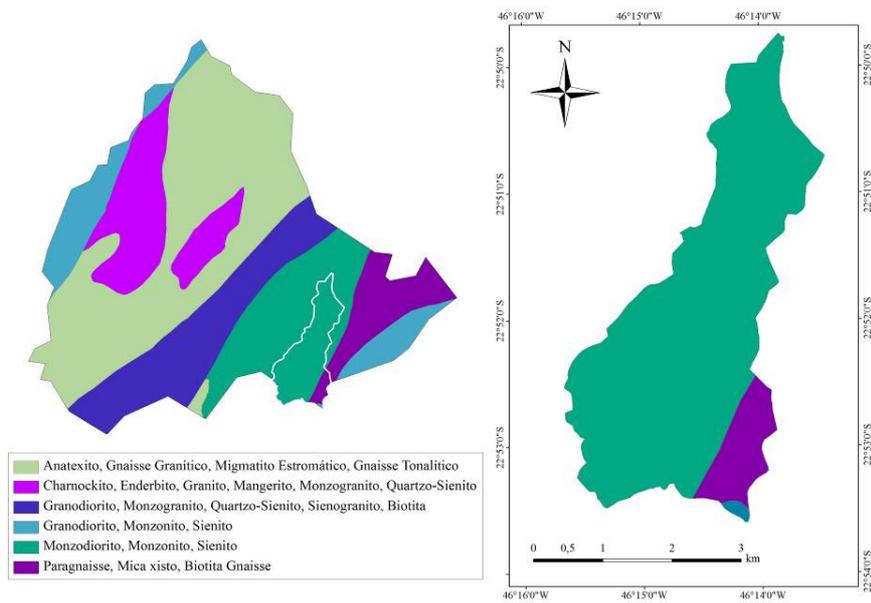


FIGURA 2 Mapa geológico da sub-bacia das Posses, Extrema (MG).

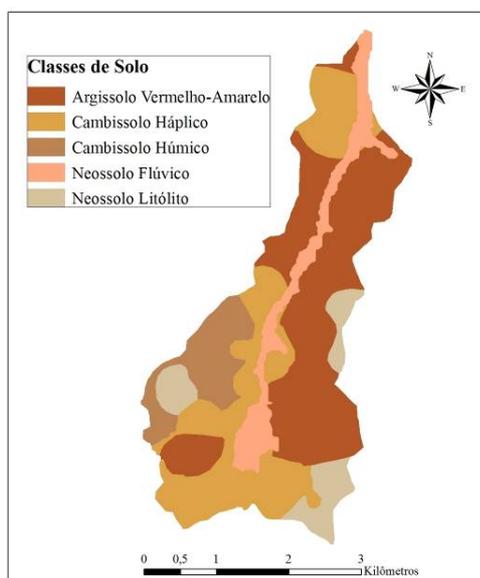


FIGURA 3 Mapa das classes de solos da sub-bacia das Posses, Extrema (MG).

TABELA 1 Distribuição do relevo da sub-bacia das Posses, Extrema (MG).

Classes	Área	
	----- ha -----	----- % -----
Plano (0-3%)	121,2	10,1
Suave Ondulado (3-8%)	29	2,4
Ondulado (8-20%)	260,4	21,8
Forte Ondulado (20-45%)	717,8	60
Montanhoso (45-75%)	66	5,5
Escarpado (>75%)	2,3	0,2
Total	1.196,70	100

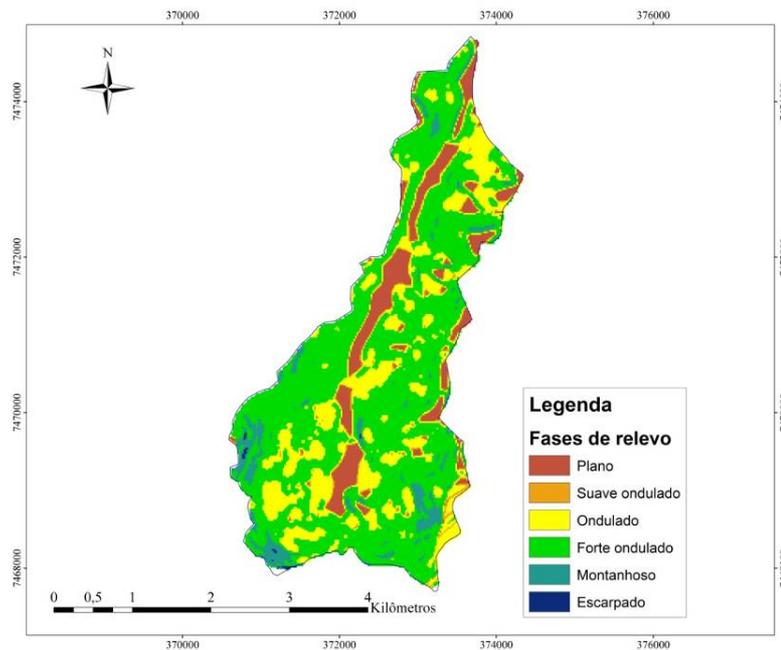


FIGURA 4 Mapa de declividade da sub-bacia das Posses, Extrema (MG)

Foram determinados alguns parâmetros fisiográficos referentes à sub-bacia das Posses: área de drenagem, perímetro, comprimento axial, largura média, coeficiente de compacidade, fator de forma, comprimento total dos cursos d'água, comprimento do curso d'água principal, densidade de drenagem, extensão média do escoamento superficial, desnível topográfico máximo da bacia e declividade de álveo, apresentando um conjunto de informações técnicas essenciais à gestão dos recursos hídricos. As informações sobre a rede de drenagem e forma da bacia foram obtidas partir de mapas digitalizados da sub-bacia das Posses (arquivos do software AutoCAD 2004).

Os coeficientes de avaliação da forma, drenagem e relevo da sub-bacia foram calculados segundo Tucci et al. (1997) e Vilella & Mattos (1975). Os coeficientes utilizados para quantificar a influência da forma superficial da sub-bacia hidrográfica no seu modo de resposta à ocorrência de uma precipitação foram:

a) Coeficiente de compacidade: $K_c = P_{BH} / P_c$ onde P_{BH} é o perímetro da bacia e P_c é o perímetro de um círculo de área igual a da bacia.

Quanto mais próximo da unidade for este coeficiente, mais a bacia se assemelha a um círculo. Assim, pode-se resumi-lo da seguinte forma:

1,00 – 1,25 = bacia com alta propensão a enchentes.

1,25 – 1,50 = bacia com tendência mediana a grandes enchentes

> 1,50 = bacia não sujeita a grandes enchentes

b) Fator de forma: $K_f = L_{médio} / L_{ax}$ onde $L_{médio}$ é o comprimento médio da bacia e L_{ax} é o seu comprimento axial, em km.

O fator de forma pode assumir os seguintes valores:

1,00 – 0,75 = sujeito a enchentes

0,75 – 0,50 = tendência mediana

< 0,50 = não sujeito a enchentes

c) Índice de conformação: $I_c = A_{BH} / L_{ax}^2$ onde A_{BH} é a área da bacia hidrográfica e L_{ax}^2 é um quadrado de lado igual ao comprimento axial da bacia.

Neste coeficiente, quanto mais próximo do valor 1 maior a propensão à enchentes, pois a bacia fica cada vez mais próxima de um quadrado.

Para a análise da rede de drenagem, inicialmente o sistema foi classificado segundo metodologia de Strahler (1952), citado por Oliveira & Ferreira (2001), seguido das seguintes determinações:

a) Densidade de drenagem: $D_d \text{ (km km}^{-2}\text{)} = \Sigma L / A_{BH}$ onde L é o comprimento total dos canais.

b) Densidade da rede de drenagem: $DR \text{ (km)} = N / A_{BH}$ onde N é o número total de cursos d'água.

c) Extensão média do escoamento superficial: $C_m \text{ (km)} = 1 / (4 * D_d)$

d) Sinuosidade do curso d'água principal: $S = L / L_t$ onde L é o comprimento do seu canal principal e L_t é o comprimento do seu talvegue, medido em linha reta.

e) A declividade do curso d'água principal (S) foi determinada por 3 métodos:

$S_1 \text{ (%) } = (h_1 * 100) / L$ onde h_1 é a diferença entre as cotas da nascente e da seção de controle.

$S_2 \text{ (%) } = (h_2 / L) * 100$ onde h_2 é a altura de um triângulo de área igual à área sob o perfil do curso d'água principal.

$S_3 \text{ (%) } = (\sum L_i / \sum (L_i / \sqrt{D_i}))^2 * 100$ onde L_i é o comprimento do respectivo trecho e D_i é a declividade do respectivo trecho.

Na caracterização do relevo da bacia foram avaliados:

a) Declividade da bacia: $I \text{ (%) } = (D / ABH) * \sum CN_i * 100$ onde, I é a declividade média da bacia (%), D é a equidistância entre as curvas de nível (m) e $\sum CN_i$ é o comprimento total das curvas de nível (m). A área da bacia deve estar em m^2 .

b) Elevação média da bacia hidrográfica: $E \text{ (m)} = \sum (e_i * a_i) / A_{BH}$ onde, E é a elevação média da bacia (m), e_i é a elevação média entre duas curvas de nível consecutivas (m), a_i é a área entre as curvas de nível (km^2).

c) Curva hipsométrica: obtida quando se acumula as áreas que estão acima ou abaixo de determinada altitude, apresenta a variação da elevação das áreas da bacia hidrográficas.

Foi realizado neste trabalho, juntamente com a caracterização fisiográfica da sub-bacia das Posses, a avaliação do potencial de recarga de água desta sub-bacia em relação relevo, geologia e classe de solo. Para avaliar o

potencial de recarga de água da sub-bacia, realizou-se a coleta de amostras e o levantamento de solos de acordo com os procedimentos normalizados por Lemos et al. (2005) e os solos classificados de acordo com EMBRAPA (2006).

Foram abertos 21 perfis para coleta das amostras de solo e caracterização dos horizontes. Com base nas classes de solos identificadas na sub-bacia, relevo e características morfológicas de cada classe de solo avaliaram-se para cada unidade homogênea da área, a capacidade no potencial de recarga de água, sendo que cada área considerada, recebeu um valor indicando esse potencial.

A metodologia utilizada foi proposta por Araújo (2006) e adaptada por Menezes et al., (2009). Foram utilizados três critérios básicos dentro de cada unidade de mapeamento: classe de solo, tipo de horizonte A e fase de relevo, os quais são descritos na Tabela 2.

TABELA 2 Valores atribuídos aos critérios selecionados para interpretação da potencialidade de recarga de água na sub-bacia estudada (Menezes et al., 2009 adaptado de Araújo, 2006).

Valor	a) Classes de solo	b) Tipos de horizonte A	c) Fases de relevo
1	Solos rasos (CX, RL)	A fraco	Montanhoso Ondulado e
2	CH	A moderado	forte ondulado Plano e suave
3	Solos intermediários (C em associação com L)	A proeminente	ondulado
4	Solos profundos (L, G e RY)	A húmico	-

CX – Cambissolo Háplico; RL – Neossolo Litólico; CH – Cambissolo Húmico; C- Cambissolo; L – Latossolo; G – Gleissolo; RY – Neossolo Flúvico.

a) Classes de solos quanto à profundidade: solos mais profundos que não possuem impedimento à infiltração estão menos sujeitos ao processo de escoamento superficial e erosão;

b) Tipos de horizonte A: esses apresentam, geralmente, maiores teores de matéria orgânica, o que influencia na retenção de água e no processo inicial

de infiltração. Esse horizonte pode sofrer modificações ao longo do tempo devido ao uso antrópico, reduzindo os teores de matéria orgânica e profundidade.

c) Fases de relevo: em condições equiparáveis, quanto maior a declividade, maior o escoamento superficial, menor a infiltração e, conseqüentemente, menor é seu valor com respeito à recarga de água. O contrário ocorre em relevos mais planos.

Como no presente trabalho teve a ocorrência do Argissolo Vermelho-Amarelo, o qual não é considerado na metodologia utilizada por Araújo (2006) e adaptado por Menezes et al., (2009). Considerando-se as características deste solo, profundidade e variação textural entre horizontes A e B, principalmente, o mesmo foi enquadrado na classe de solos intermediários.

Os dados foram então cruzados, multiplicando-se os valores atribuídos para classe de solo quanto à profundidade, aos tipos de horizonte A e as fases de relevo. Valores encontrados entre 1 e 6 foram considerados como de baixo potencial de recarga de água; entre os valores 7 a 12, foram considerados como de médio potencial; e valores entre 13 e 36, como de bom potencial de recarga.

Após analisadas as características da rede de drenagem da sub-bacia das Posses e o potencial de recarga de água da mesma, realizou-se uma análise da atual situação a qual a sub-bacia das Posses.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação às características da rede de drenagem da sub-bacia das Posses, esta apresentou comprimento axial de 7,35 km, largura média de 2,1 km e comprimento do talvegue de 6,7 km. Na Figura 5, observa-se o mapa das características fisiográficas da sub-bacia, na forma georreferenciada, constando a hidrografia, o relevo e os divisores de águas. O coeficiente de compactidade (Kc) foi de 1,63 e o fator de forma (Kf) igual a 0,29.

Estes resultados indicam que a sub-bacia, em condições normais de precipitação, não está sujeita a grandes enchentes, já que a forma alongada proporciona um fluxo mais distribuído ao longo de todo o canal principal, produzindo cheias de volume inferior quando comparada a uma bacia de forma circular. Em bacia de forma próxima da circular os escoamentos convergem em instantes similares para pontos próximos, aumentando rapidamente o deflúvio acumulado para o canal principal da bacia, potencializando a carga hídrica, os processos erosivos, o assoreamento e com maior risco de enchentes. Em uma bacia alongada o deflúvio ocorre em pontos distantes e com um tempo para estes escoamentos chegarem ao mesmo ponto do canal principal, chegam em tempos diferentes, resultando em menor vazão, (Costa et al., 2008).

O índice de conformação (Ic) de 0,22 indicou, igualmente, uma baixa propensão a enchentes na bacia, devido à sua forma se aproximar mais de um retângulo do que de um quadrado. A sub-bacia foi classificada como de 3º ordem (Strahler), com 59 cursos d'água. A densidade de drenagem (Dd) foi de 2,79 km km⁻², sendo considerada bem drenada, e com uma densidade da rede de drenagem (Dr) igual a 4,93 canais km⁻². A extensão média do escoamento superficial (Cm) foi de 0,089 km.

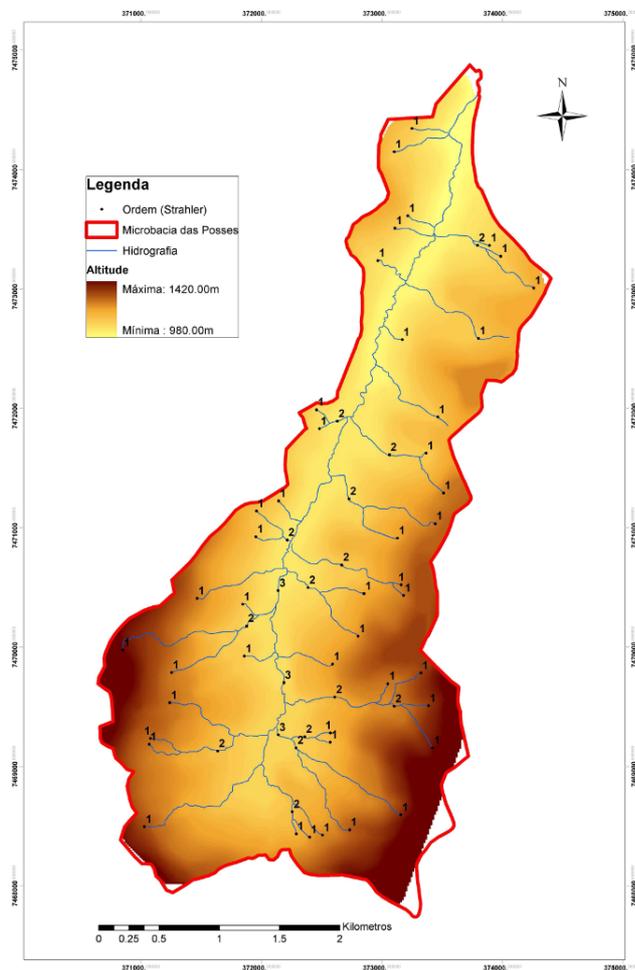


FIGURA 5 Mapa da rede de drenagem da sub-bacia hidrográfica das Posses, Extrema (MG).

A sinuosidade do curso d'água principal (S) foi de 1,26. A declividade do curso d'água principal no primeiro método (S1) foi de 3,31%, 1,28% considerando o segundo método (S2) e 1,32% para o terceiro (S3). Na Figura 6 pode-se observar o perfil do curso d'água principal. Nos primeiros 1.000 m do curso d'água ocorre a maior declividade do talvegue (cerca de 60 a 70% da

declividade total), podendo indicar que a cabeceira da sub-bacia está propícia a maiores perdas de solo. A segunda parte do curso é caracterizada por ser mais suave, podendo ser uma área de deposição de sedimentos (Figura 6). Normalmente as cabeceiras dos cursos de água são os locais onde há maior concentração de erosões em sulcos. Esses locais são zonas de convergência dos fluxos superficial e subterrâneo, havendo assim uma interação sinérgica favorável aos processos causadores de incisões sobre vertentes (EMBRAPA, 2007). Em função dessa característica, áreas de cabeceira de drenagem devem ser consideradas como áreas de risco de erosão. Isto mostra a importância de um manejo visando à conservação do solo e conseqüentemente deste ecossistema.

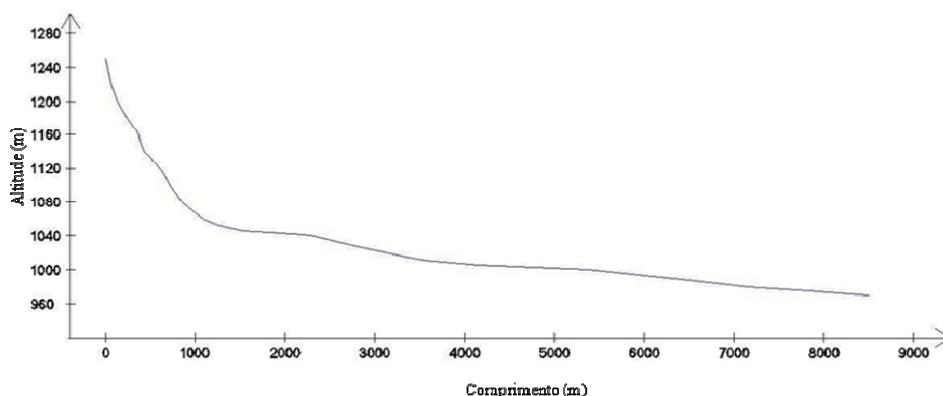


FIGURA 6 Perfil do curso d'água principal.

As informações sobre a rede de drenagem da sub-bacia das Posses são importantes para caracterizar o relevo da sub-bacia e, juntamente com outros atributos, tais como o tipo de solo e sua cobertura vegetal, avaliar o comportamento do escoamento superficial e capacidade de drenagem da bacia. Quanto ao relevo, a maior influência está no comprimento e na declividade das vertentes. As mais íngremes facilitam a erosão dos solos, na medida em que aumentam o escoamento superficial. Conhecer a declividade da sub-bacia

auxilia na aferição da velocidade do escoamento, informação fundamental para definição de um manejo visando o controle da erosão hídrica e a manutenção das áreas prioritárias garantindo uma boa recarga do lençol subterrâneo.

Estes resultados indicam que a sub-bacia não está sujeita a grandes enchentes, já que a forma alongada proporciona um fluxo mais distribuído ao longo de todo o canal principal, produzindo cheias de volume inferior quando comparada a uma bacia de forma circular. O índice de conformação (I_c) de 0,22 indicou, igualmente, uma baixa propensão a enchentes na bacia, devido à sua forma se aproximar mais de um retângulo do que de um quadrado. A sub-bacia foi classificada como de 3º ordem (Strahler, 1957) com 59 cursos d'água. A densidade de drenagem (D_d) foi de 2,79 km km⁻², sendo considerada bem drenada, e com uma densidade da rede de drenagem (D_r) igual a 4,93 canais km⁻². A extensão média do escoamento superficial (C_m) foi de 0,089 km.

Em relação à potencialidade de recarga de água da sub-bacia das Posses, o Neossolo Flúvico e o Cambissolo Húmico apresentaram um alto potencial de recarga (Tabela 3). Os Cambissolos Húmicos ocupam 121,31 ha da sub-bacia das Posses, o que corresponde a 10% da área total da sub-bacia. Os Cambissolos Háplicos ocupam 351,95 ha (29%), os Argissolos Vermelho-Amarelos ocupam 478,61 ha (40%), os Neossolos Flúvicos 108,85 ha (10%) e os Neossolos Litólicos 135,98 há (11%). Dessa maneira, observa-se que apenas 20% da área total da sub-bacia das Posses apresentam bom potencial de recarga. Os Cambissolos Háplicos e Neossolos Litólicos apresentaram baixo potencial de recarga, o que caracteriza 40% da sub-bacia das Posses. Os Argissolos Vermelho-Amarelos caracterizaram-se como médios em relação ao potencial de recarga de água na sub-bacia, sendo que estes solos ocupam 40% da sub-bacia das Posses.

Os Neossolos Flúvicos possuem bom potencial de recarga por estarem presentes em posição privilegiada na paisagem, próximos a rede de drenagem e

possuírem relevo plano. Nota-se que o Neossolo Litólico apresentou baixo potencial mesmo em situações diferentes de paisagem. Os Cambissolos Háplicos também apresentaram baixo potencial de recarga. Os Cambissolos Háplicos e Neossolos Litólicos estão associados à baixa infiltração, com conseqüente diminuição da sua contribuição em relação à recarga de água. Estudos sobre Cambissolos, em relevo acidentado e sub-bacias da mata atlântica, mostram baixo potencial de recarga, devido o potencial gravitacional da água nos solos mais declivosos ser bem maior em relação às áreas mais baixas, aumentando o escoamento subsuperficial reduzindo a infiltração da água em maiores profundidades (Ranzini et al. 2004). O baixo potencial de recarga foi encontrado em relevo montanhoso, forte ondulado e ondulado. Os declives acentuados tornam os solos mais expostos à erosão hídrica. Uma das alternativas para minimizar os efeitos do baixo potencial de recarga de água é a manutenção de uma eficiente cobertura vegetal.

A fração orgânica em equilíbrio com a cobertura vegetal função de ciclar nutrientes, sendo esse mecanismo importante para o controle da qualidade da água (Embrapa, 2003). Uma vez que essa cobertura vegetal esteja mantida, ocorre o retardamento da movimentação de água em direção aos cursos, reduzindo o escoamento superficial, produzindo, até mesmo, uma maior retenção de água pelos solos em períodos de maior concentração de chuvas (Cardoso et al., 2006).

É importante ressaltar também que os dados pluviométricos são fundamentais para o controle de recarga de água, bem como para a previsão de quantidade de água acumulada. Não basta que o terreno tenha condições favoráveis, sem que haja contribuição do ponto de vista pluviométrico (Souza et al., 2003). Para esta sub-bacia, o regime pluviométrico não é um fator limitante devido à elevada precipitação média anual (1.477mm) e chuvas bem distribuídas ao longo do ano.

O predomínio na sub-bacia por pastagens, fases de relevo predominantemente onduladas a forte onduladas e manejo incorreto do solo, são principais causas das perdas de solo e água na sub-bacia.

As características fisiográficas da sub-bacia em estudo mostram que a rede de drenagem não está sujeita a grandes enchentes bem como perdas de solo e água por erosão. Porém, a situação do relevo bem como as propriedades dos solos presentes caracterizam solos como de baixo potencial de recarga de água, em sua maioria.

Práticas conservacionistas do solo e da água são medidas necessárias para que a recarga de água da sub-bacia ocorra. Deve-se levar em consideração, que o emprego de práticas vegetativas e mecânicas de conservação do solo, bem como o cercamento das áreas de proteção permanente elevará o potencial de recarga da sub-bacia, considerando-se que a rede de drenagem da mesma favorece a infiltração de água.

Os problemas ambientais observados na sub-bacia das Posses são comuns em diversas paisagens, já que a ocupação e uso do solo ocorreram de maneira intensa, principalmente em ecossistemas com predomínio de matas como por exemplo a mata atlântica.

O aumento nos problemas ambientais que tiveram início há longa data são cada vez mais evidentes e catastróficos. O problema da falta de água para muitas regiões devido à ausência de recarga nos cursos d'água bem como a ocorrência de enxurrada e desabamentos que ocorrem pelo elevado índice de precipitação, são problemas ambientais causados principalmente pelo desmatamento e conseqüente alteração do ciclo hidrológico nas bacias hidrográficas.

TABELA 3 Classes de solos, tipos de horizonte A, profundidade, textura, fases de relevo e potencial de recarga na sub-bacia das Posses, Extrema (MG).

Classes de solo	Tipos de horizonte A	Profundidade	Textura	Fases de Relevo	Potencial de recarga
CH	Húmico	Moderado	Argilosa	Forte ondulado	Bom
CH	Húmico	Moderadamente profundo	Argilosa	Ondulado	Bom
CX	Moderado	Moderadamente profundo	Média	Ondulado	Baixo
CX	Moderado	Moderadamente profundo	Média	Forte ondulado	Baixo
CX	Moderado	Moderado	Argilosa	Forte ondulado	Baixo
CX	Moderado	Moderadamente profundo	Argilosa	Ondulado	Baixo
CX	Moderado	Moderadamente profundo	Argilosa	Ondulado	Baixo
CX	Moderado	Moderadamente profundo	Argilosa	Ondulado	Baixo
CX	Moderado	Moderadamente profundo	Argilosa	Ondulado	Baixo
CX	Moderado	Moderadamente profundo	Média	Ondulado	Baixo
CX	Moderado	Moderadamente profundo	Média	Forte ondulado	Baixo
PVA	Moderado	Moderadamente profundo	Arenosa	Ondulado	Médio
PVA	Moderado	Moderado	Média	Ondulado	Médio
PVA	Moderado	Moderadamente profundo	Média	Forte ondulado	Médio
PVA	Moderado	Moderadamente profundo	Argilosa	Ondulado	Médio
PVA	Moderado	Moderadamente profundo	Média	Ondulado	Médio
PVA	Moderado	Moderadamente profundo	Argilosa	Ondulado	Médio
RL	Moderado	Raso	Argilosa	Montanhoso	Baixo
RL	Moderado	Raso	Média	Suave ondulado	Baixo
RL	Moderado	Raso	Argilosa	Montanhoso	Baixo
RY	Moderado	Profundo	Arenosa	Plano	Bom

CH: Cambissolo Húmico; RL: Neossolo Litólico; RY: Neossolo Flúvico; CX: Cambissolo Háptico; PVA: Argissolo Vermelho Amarelo

6 CONCLUSÕES

As características fisigráficas favorecem a recarga de maneira que a rede de drenagem constitui-se bastante ramificada e tem baixa propensão a enchentes.

O potencial de recarga de água na sub-bacia das Posses é caracterizado, em sua maior parte como baixa.

Fases de relevo predominantemente onduladas a forte onduladas e declives acentuados são as principais causas do baixo potencial de recarga de água na sub-bacia das Posses.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Programa produtor de água superintendência de usos múltiplos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2008.
- ARAÚJO, A. R. **Solos da bacia do Alto Rio Grande (MG)**: base para estudos hidrológicos e aptidão agrícola. 2006. 332 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; MARTINS, S. V.; SOARES, C. P. B. Caracterização hidroambiental da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 249-256, mar. 2006.
- COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 743-753, jul. 2003.
- COSTA, T. C. C.; FIDALGO, E. C. C.; UZEDA, M. C.; ZARONI, M. J.; NAIME, U. J.; GUIMARÃES, S. P. Um indicador de vulnerabilidade para sub-bacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro. **Geografia**, Londrina, v. 17, n. 2, p. 5-23, jul./dez. 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Caracterização dos solos em duas topossequências sobre diferentes litologias em áreas altimontanas na Serra da Mantiqueira**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 31 p. (Documentos, 57).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: CNPS, 2006. 94 p.

EMBRAPA MEIO AMBIENTE. **Formas de controle da erosão linear**. Jaguariúna. Disponível em: <<http://www.cnpma.embrapa.br/unidade/>>. Acesso em: 29 nov. 2009.

INÁCIO, E. S. B.; CANTALICE, J. R. B.; NACIF, P. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; BARRETO, A. C. Quantificação da erosão em pastagem com diferentes declives na microbacia do Ribeirão Salomea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 4, p. 355-360, jul./ago. 2007.

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

MENEZES, M. D.; JUNQUEIRA JÚNIOR, J. A.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; CURI, N.; MARQUES, J. J. Dinâmica hidrológica de duas nascentes, associada ao uso do solo, características pedológicas e atributos físico-hídricos na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha – Serra da Mantiqueira (MG). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 82, p. 175-184, jun. 2009.

OLIVEIRA, A. de; FERREIRA, E. **Caracterização de sub-bacias hidrográficas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 64 p. (Textos Acadêmicos. Curso de pós-graduação “Lato Sensu” Gestão e Manejo Ambiental em Sistemas Agrícolas).

RANZINI, M.; RIGHETTO, A. M.; LIMA, W. P.; GUANDIQUE, M. E. G.; ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. Processos hidrológicos de uma microbacia com Mata Atlântica, na região da Serra do Mar, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 66, p. 108-119, dez. 2004.

SOUZA, A. L. N.; FERNANDES, V. H.; CARVALHO, L. G.; ANTUNES, M. A. H. Geoprocessamento para estudos de potencial hidrogeológico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 21., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Geoprocessamento para Estudos de Potencial Hidrogeológico, 2003. CD-ROM.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions American Geophysical Union**, Washington, v. 8, n. 6, p. 913-920, 1957.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 1997.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2002.

VILELLA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. 245 p.

WHATELY, M.; CUNHA, P. **Cantareira 2006: um olhar sobre o maior manancial de água da Região Metropolitana de São Paulo: resultados do diagnóstico socioambiental participativo do sistema Cantareira**. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2007. 67 p.