

**PERMEABILIDADE DO SOLO NA SUB-
BACIA DO CÓRREGO CENTENÁRIO,
LAVRAS, MG, EM APOIO À LEGISLAÇÃO
DAS CIDADES**

MARCELO BARBOSA FURTINI

2009

MARCELO BARBOSA FURTINI

**PERMEABILIDADE DO SOLO NA SUB-BACIA DO CÓRREGO
CENTENÁRIO, LAVRAS, MG, EM APOIO À LEGISLAÇÃO DAS
CIDADES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola, área de
concentração em Engenharia de Água e Solo, para a
obtenção do título de “Doutor”.

Orientadora

Prof^ª. Dr^ª. Elizabeth Ferreira

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2009

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

Furtini, Marcelo Barbosa.

Permeabilidade do solo na sub-bacia do córrego Centenário,
Lavras, MG, em apoio à legislação das cidades / Marcelo Barbosa
Furtini. – Lavras : UFLA, 2009.

108 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: Elizabeth Ferreira.

Bibliografia.

1. Sistema de informações geográficas. 2. Uso da terra. 3.
Permeabilidade. 4. Planejamento urbano. 5. Legislação. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.47

MARCELO BARBOSA FURTINI

**PERMEABILIDADE DO SOLO NA SUB-BACIA DO CÓRREGO
CENTENÁRIO, LAVRAS, MG, EM APOIO À LEGISLAÇÃO DAS
CIDADES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola, área de
concentração Engenharia de Água e Solo, para
obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 5 de agosto de 2009

Prof. Hélcio Andrade	UFLA
Prof. José Aldo Alves Pereira	UFLA
Pesquisadora Margarete Marin Lordelo Volpato	EPAMIG
Prof. Yuri Tavares Rocha	USP

Prof^ª.Elizabeth Ferreira
UFLA
(Orientadora)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

*A DEUS,
OFEREÇO.*

*Aos meus pais, Rêmulo e Iza, por minha vida, meus estudos, por proporcionar
mais esta conquista.*

Ao meu avô, José Furtini (in memoriam), por todos os ensinamentos.

A Juliana, pelo companheirismo e apoio.

A toda minha família.

Aos amigos, especialmente ao Fabrício de Menezes Telo Sampaio.

A todos que colaboraram e acreditaram.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por meus pais, pela minha saúde, paz, discernimento e prosperidade.

À Universidade Federal de Lavras, por esta oportunidade.

A Professora Dra. Elizabeth Ferreira, pela orientação ao longo do curso e exemplo.

Ao Professor Dr. Elio Lemos da Silva, pela orientação, conselhos e exemplo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos.

À Fapemig, pelo financiamento do projeto SHA-APQ-2925-3.12/07.

À Prefeitura Municipal de Lavras, em especial à Prefeita Jussara Menicucci de Oliveira, pelo apoio à pesquisa, cedendo informações do município de Lavras, MG.

Aos professores Dr. José Aldo Alves Pereira e Dr. Rogério Palhares Zschaber de Araujo, pela amizade, conselhos, exemplo e incentivo.

Aos professores Dr. Hécio Andrade, Dr. Luis Marcelo Tavares de Carvalho, Dr. Mozart Martins Ferreira e Dr. Stélio Maia Menezes, pelo apoio e amizade.

Ao professor Dr. José Darlan Ramos e família, pelos conselhos e incentivos.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia, especialmente a Daniela.

Aos meus irmãos, Gustavo e Flavio.

A minha família, em especial Ma e Fausto.

A todos que contribuíram para a realização desta pesquisa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	iii
RESUMO GERAL.....	v
ABSTRACT.....	vi
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 ÁREA DE ESTUDO.....	4
CAPÍTULO 1: Análise das superfícies permeáveis e caracterização física da sub-bacia do córrego Centenário.....	9
Resumo.....	9
Abstract.....	10
1 Introdução.....	11
2 Material e Métodos.....	14
2.1 Área de estudo.....	14
2.2 Base de dados.....	14
2.3 Mapa de uso da terra.....	16
2.4 Mapa de declividade.....	16
2.5 Mapa das classes de solos.....	17
2.6 Diagnóstico do uso do solo.....	18
3 Resultados e Discussão.....	19
3.1 Classificação das superfícies permeáveis.....	19
3.2 Declividade.....	22
3.3 Solos.....	26
3.4 Diagnóstico do uso do solo.....	27
4 Conclusões.....	32
5 Referências Bibliográficas.....	33

CAPÍTULO 2: Condutividade hidráulica em área urbana - apoio à legislação da cidade de Lavras, MG.....	39
Resumo	39
Abstract.....	40
1 Introdução	41
2 Material e Métodos	46
3 Resultados e Discussão	51
4 Conclusões.....	71
5 Referências Bibliográficas.....	72
CAPÍTULO 3: Legislação urbana aplicada à permeabilidade do solo	78
Resumo	78
Abstract.....	79
1 Introdução	80
2 Material e Métodos	84
3 Resultados e Discussão	87
4 Conclusões.....	102
5 Referências Bibliográficas.....	104

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 Localização de Lavras, MG.	4
FIGURA 2 Localização do município de Lavras, MG.	5
FIGURA 3 Sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.....	6
FIGURA 4 Imagem aérea da sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG, no ano de 2006.....	8
FIGURA 5 Regiões classificadas como superfícies permeáveis e superfícies impermeáveis, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG (mapeamento de 2006).....	21
FIGURA 6 Classes de declividade na sub-bacia do córrego Centenário.....	26
FIGURA 7 Carta-Síntese: permeabilidade, declividade e solos na sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.	32
FIGURA 8 Pontos de coleta de solo na sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.....	50
FIGURA 9 Histograma de condutividade hidráulica (A) e densidade do solo (B), sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.	55
FIGURA 10 Fatiamento das classes de permeabilidade, utilizando o interpolador vizinho mais próximo, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.	61
FIGURA 11 Fatiamento das classes de permeabilidades utilizando o interpolador média ponderada, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.	62
FIGURA 12 Fatiamento das classes de permeabilidades utilizando o interpolador média ponderada por quadrante, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.....	63
FIGURA 13 Fatiamento das classes de Ds utilizando o interpolador vizinho mais próximo, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.....	64

FIGURA 14 Fatiamento das classes de Ds utilizando o interpolador média ponderada, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.....	65
FIGURA 15 Fatiamento das classes de Ds utilizando o interpolador média ponderada por quadrante, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.....	66
FIGURA 16 Classificação da condutividade hidráulica nas regiões permeáveis da sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.	71
FIGURA 17 Classificação da densidade do solo nas regiões permeáveis da sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.	72
FIGURA 18 Regiões das linhas de drenagem. Áreas não ocupadas em preto, ocupação irregular em cinza. Sub-bacia do córrego Centenário, Lavras - MG.93	
FIGURA 19 Regiões com declividade igual ou superior a 30%. Áreas não ocupadas em preto e ocupação irregular em cinza. Sub-bacia do córrego Centenário, Lavras - MG.	95
FIGURA 20 Localização da voçoroca. Áreas não ocupadas em preto, ocupação irregular em cinza. Sub-bacia do córrego Centenário, Lavras - MG.97	
FIGURA 21 Regiões das nascentes e da linha férrea. Áreas não ocupadas em preto, ocupação irregular em cinza. Sub-bacia do córrego Centenário, Lavras - MG.....	99
FIGURA 22 Regiões classificadas segundo a Lei Federal 6766/79. Áreas não ocupadas em preto, ocupação irregular em cinza. Sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.	101

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Correlação entre classes de declividade e relevo.	18
TABELA 2	Correlação entre classes de declividade e classes de solos.	19
TABELA 3	Classes de declividade da sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.	24
TABELA 4	Distribuição das classes de solo na sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.	27
TABELA 5	Tabulação entre superfícies permeáveis e declividade, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.	28
TABELA 6	Tabulação entre superfícies permeáveis e classes de solos, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.	31
TABELA 7	Faixas de declividade com os respectivos pontos de amostragem na sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.	49
TABELA 8	Classes de “permeabilidade”, de acordo com os valores de Ko.....	51
TABELA 9	Classes de densidade do solo.	51
TABELA 10	Características visuais das localidades amostradas na sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.	53
TABELA 11	Resultado da análise exploratória de condutividade hidráulica e densidade do solo, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG...	53
TABELA 12	Resultado da condutividade hidráulica nas declividades de 0 a 12%, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.....	57
TABELA 13	Resultado da condutividade hidráulica nas declividades acima de 12%, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.....	57
TABELA 14	Resultado da densidade do solo nas declividades de 0 a 12%, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.	58
TABELA 15	Resultado da densidade do solo nas declividades de 12 a >40%, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.	58

TABELA 16 Medidas de classe de permeabilidade.	68
TABELA 17 Medidas de classe de densidade do solo.	70
TABELA 18 Resultado da classificação das áreas de legalidade e ilegalidade, em função das linhas de drenagem, nascentes, voçoroca, ferrovia e declividade, de acordo com a Lei Federal 6766-79 para a sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.	90

RESUMO GERAL

FURTINI, Marcelo Barbosa. **Permeabilidade do solo na sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG, em apoio à legislação das cidades**. 2009. 108 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

As ações antrópicas geram uma série de mudanças nos ambientes urbanos, sendo necessárias medidas que minimizem os conflitos entre o meio urbano e o natural. Uma das questões a serem trabalhadas em planejamento urbano, almejando cidades sustentáveis, é a permeabilidade do solo. A análise das características físicas da região e a capacidade que o solo oferece à passagem de água através de seus vazios são ferramentas indispensáveis para viabilizar a implantação da taxa de permeabilidade (TP) em áreas urbanas. A possibilidade de mapeamento das áreas que apresentam maior facilidade de absorção d'água no solo e a definição das áreas nas quais poderão ser aplicadas as ferramentas de compensação do volume não infiltrado reduzem cobranças indevidas. Assim, o conhecimento da permeabilidade do solo nas cidades tem grande importância na definição das legislações urbanas e ações que serão adotadas para minimizar impactos. Objetivou-se quantificar e avaliar as áreas classificadas como permeáveis, na malha urbana da sub-bacia hidrográfica do córrego Centenário em Lavras, MG, analisar a aplicabilidade da Lei Federal 6766/79 e inferir na lei de Uso e Ocupação do Solo do município. A utilização de sistemas de informação geográfica subsidiou o estudo na sub-bacia do córrego Centenário. Inicialmente, realizaram-se o mapeamento das áreas com superfícies permeáveis e a caracterização física da sub-bacia, analisando as interações entre declividade, solos e uso da terra. Para o estudo da permeabilidade do solo, foram coletadas amostras indeformadas na camada de 0-20 cm e realizaram-se ensaios de condutividade hidráulica, utilizando-se permeômetro de carga constante. Para avaliar a aplicabilidade da Lei Federal 6766/79, buscaram-se as diretrizes que a legislação fornece para restringir o crescimento da cidade e, a partir de rotinas computacionais, foi caracterizada a apropriação da malha urbana. Para obter um melhor entendimento da permeabilidade na região, a partir da Lei de Uso e Ocupação do Solo do município, procurou-se identificar que relação o valor da TP possui com as informações do meio físico e se esta relação é condizente com a atual ocupação da sub-bacia hidrográfica.

* Comitê Orientador: Elizabeth Ferreira - UFLA (Orientador),
Elio Lemos da Silva - UFLA.

ABSTRACT

FURTINI, Marcelo Barbosa. **Permeability in the sub-basin of the Centenário stream, Lavras, MG, in support of the legislation of cities.** 2009. 108 p. Thesis (Doctorate in Agricultural Engineering) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. *

The anthropic shares generate a series of changes in urban environments, thus requiring measures to minimize conflicts between both the urban and the rural areas. The main issue to be worked on urban planning for sustainable cities is the soil permeability. The analysis of the physical features of region as well as the soil capacity to absorb the water are extremely important tools to make the implementation of the Permeability Rate (TP) in urban areas. The possibility of mapping the areas with greater water absorption capacity and the definition of the areas where the tools can be used in order to compensate for the non infiltrated volume, reduce undue charges. Therefore the knowledge of soil permeability in the cities is very important in order that urban laws and actions to be adopted to minimize impacts can be outlined. This work was carried out with the objective of quantifying and assessing the areas classified as permeable in the urban network of the Centenário stream sub-basin in Lavras-MG, analyzing the applicability of the Federal Law n. 6766/79 and assessing the law of use and occupation of the municipality soil. The use of geographical information systems helped the study. Initially the mapping of areas with permeable surfaces and the physical characterization of the sub-basin was held, analyzing the interactions among the slope, soils and land use. In order to study the permeability of the undisturbed soil, samples were collected in the soil layer from 0 to 20 cm, and hydraulic conductivity tests were held using a constant workload permeameter. In order to evaluate the applicability of the Federal Law n. 6766/79, the guidelines provided by the legislation to restrict the city growth were sought. The appropriation of the urban network was characterized by using computational routines. In order to better understand the permeability in the region, the Municipality Law of Use of Occupation of the Soil was referred to find out what the relationship between the TP value and the information about the physical environment is, and yet, to find out whether such a relationship is consistent with the current occupation of the sub-basin.

* Guidance Committee: Elizabeth Ferreira - UFLA (Major Professor),
Elio Lemos da Silva - UFLA.

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os problemas provocados pela má utilização dos recursos naturais têm ocasionado consequências graves para a Terra. Diversas catástrofes assolam a população mundial, mostrando que as áreas urbanas são as regiões mais impactadas pela utilização irracional do meio ambiente. Ficaram evidentes, nestes últimos anos, a fragilidade do homem na Terra e os grandes esforços que serão necessários para alcançar a conscientização da sustentabilidade.

Uma das principais questões a serem trabalhadas em planejamento urbano, almejando cidades sustentáveis, é a permeabilidade do solo. As ações antrópicas geram uma série de mudanças nos ambientes, sendo necessárias medidas que minimizem os conflitos entre o meio urbano e o natural. O problema da permeabilidade é um dos fatores preponderantes nas cidades, tornando-as vulneráveis aos impactos ambientais e tornando-se uma das maiores interferências do homem na Terra.

O conceito de permeabilidade, em engenharia de água no solo, é a propriedade que indica a maior ou a menor facilidade que o mesmo oferece à passagem de água através de seus vazios e que são expressas numericamente. Para o planejamento urbano, a permeabilidade se restringe às superfícies impermeáveis que recobrem o solo desnudo, como asfalto, telhados, áreas cimentadas, etc. A impermeabilização nas cidades é abordada a fim de se evitar a sua crescente proliferação, restringindo a cobertura do solo através de uma porcentagem da área apropriada.

Assim, desde 1979, o governo federal implementa ações visando o crescimento das cidades, pela Lei Federal nº 6766/1979. Posteriormente, com a aprovação do estatuto da Cidade, Lei Federal nº 10.257/2001, criaram-se instrumentos para garantir a democratização do planejamento e da gestão das cidades. Esses princípios, aplicados às realidades locais, resultaram no Plano

Diretor Municipal, que é um instrumento importante para atingir uma relação equilibrada entre o sistema natural e o ambiente construído.

Algumas cidades no Brasil, preocupadas com o crescimento das superfícies impermeáveis, utilizaram a legislação do município para limitar a cobertura do solo por meio da taxa de permeabilidade, inserida na Lei de Uso e Ocupação do Solo do município. Este instrumento obriga os proprietários de loteamentos e lotes a deixarem uma porcentagem de área descoberta, para que a água infiltre no solo. Essa ferramenta, em alguns casos, é utilizada sem considerar a capacidade de infiltração de cada solo e as características particulares de cada região, tornando-se sua função inócua e promovendo uma taxa onerosa e indevida para os proprietários.

A análise das características físicas da região e a capacidade que o solo oferece à passagem de água através de seus vazios são ferramentas indispensáveis para viabilizar a implantação da taxa de permeabilidade em áreas urbanas. A possibilidade de mapeamento das áreas que apresentam maior facilidade de absorção d'água no solo e a definição daquelas em que poderão ser aplicadas as ferramentas de compensação do volume não infiltrado reduzem cobranças indevidas. Estes fatores, além da fiscalização e monitoramentos periódicos, potencializam a aplicação da legislação.

Um novo modelo de uso do solo para as cidades necessita ser idealizado, considerando as características específicas de cada região. Os dados devem ser implementados em tecnologias geoespaciais, podendo ser analisados e diagnosticados de forma detalhada, contribuindo para o planejamento e o monitoramento dos municípios e fornecendo diretrizes na elaboração do plano diretor municipal.

A impermeabilidade do solo em áreas urbanas influencia fortemente a qualidade ambiental nas cidades, devido à formação de ilhas de calor, às enchentes e à erosão do solo, entre outros fatores. Neste contexto, este trabalho

foi realizado com os objetivos de quantificar e avaliar as áreas classificadas como permeáveis na malha urbana da sub-bacia hidrográfica do córrego Centenário, em Lavras, MG e analisar a legislação urbana, podendo fornecer informações para as tomadas de decisão com relação às leis municipais.

Os objetivos específicos foram:

- a) quantificar as superfícies permeáveis e impermeáveis na sub-bacia hidrográfica e avaliar as interações entre declividade, classes de solo e uso da terra;
- b) analisar a condutividade hidráulica do solo na sub-bacia hidrográfica;
- c) avaliar a aplicabilidade da Lei Federal 6.766/79 e inferir na lei de Uso e Ocupação do Solo do município.

2 ÁREA DE ESTUDO

Lavras está situada no estado de Minas Gerais e é considerada uma cidade pólo na região (Figura 1). Insere-se na região administrativa Alto Rio Grande que, segundo a divisão estabelecida em 1997, pelo estado de Minas Gerais, é composta por 22 municípios. As divisões de planejamento definem a situação do município na microrregião de Lavras, Sul de Minas.

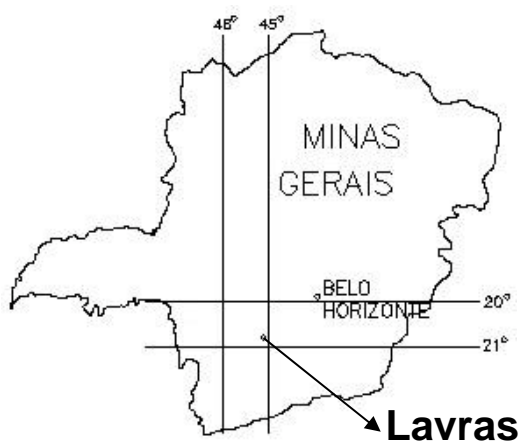


FIGURA 1 Localização de Lavras, MG.

A altitude do município varia entre 800 a 1.200 m. O clima, conforme a classificação climática de Köppen, é Cwa. A temperatura média anual é de 20,4°C e o total de precipitação normal anual é de 1.460 mm (Dantas et al., 2007). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2008), a população é estimada em 87.421 habitantes, numa área territorial de 565 km² (Figura 2).

O município de Lavras encontra-se em grande expansão econômica. Seu crescimento urbanístico, característico de uma região em pleno desenvolvimento, trouxe a falta de infraestrutura urbana condizente com a atual

densidade demográfica. Os principais motivos que levaram a cidade a sofrer degradações foram o crescimento repentino e a falta de planejamento urbano e regional.

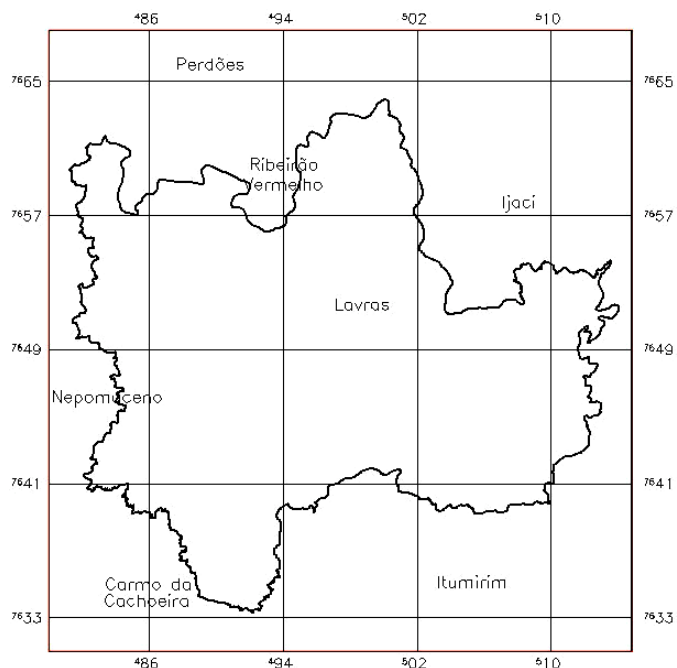


FIGURA 2 Localização do município de Lavras, MG.

A área de estudo é a sub-bacia do córrego Centenário (Figura 3), localizada entre as coordenadas UTM 499.472, 501.504 m E e 7.649.473, 7.852.793 m N, fuso 23 K, localizada na malha urbana da cidade de Lavras, ocupando uma área territorial de 307 ha.

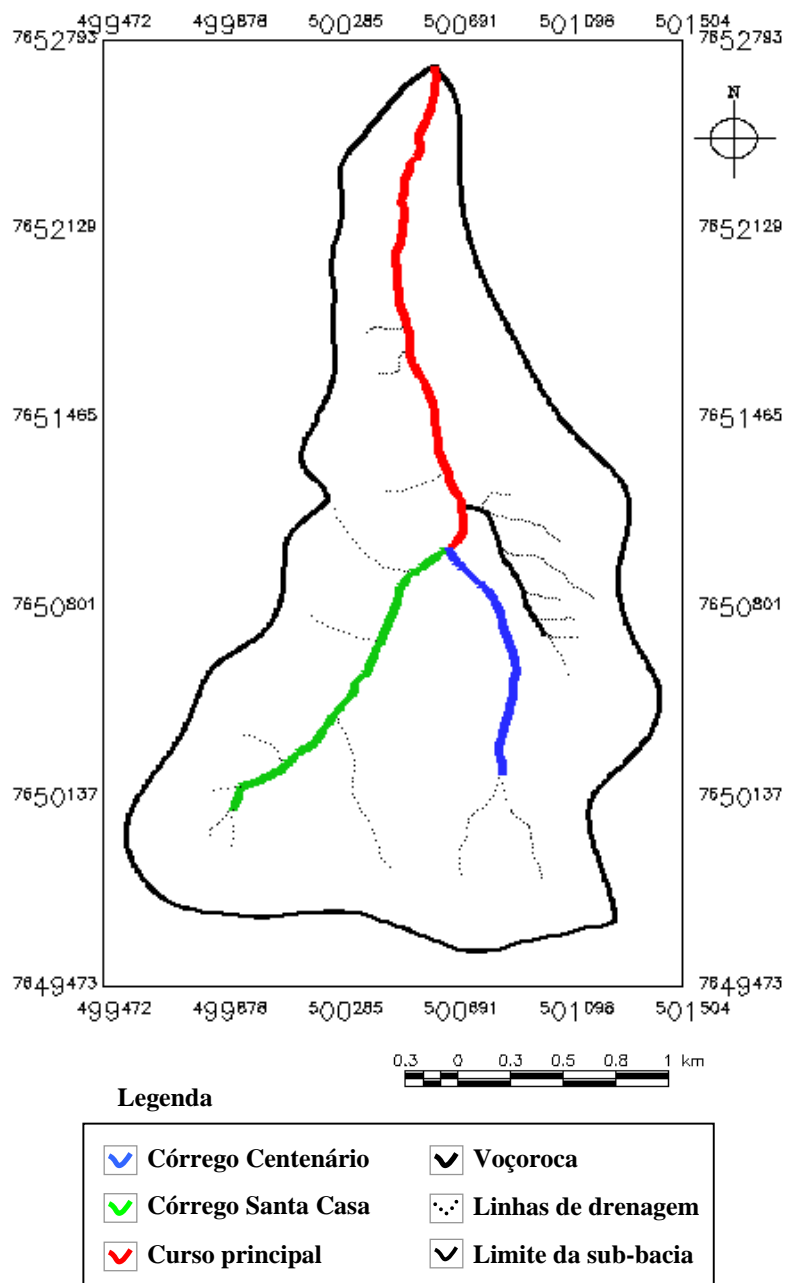


FIGURA 3 Sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

A sub-bacia hidrográfica tem dois córregos que atualmente estão canalizados por estruturas de concreto armado fechadas. O córrego Santa Casa, localizado próximo ao centro da cidade, região oeste da sub-bacia, tem 1,26 km de comprimento. O córrego Centenário, porção leste da sub-bacia, percorre 0,87 km, até encontrar-se com o córrego Santa Casa. A união das águas dos dois córregos percorre, aproximadamente, 1,79 km de comprimento em estrutura de concreto armado aberta, até desaguar próximo à entrada da Universidade Federal de Lavras.

A região abrange a maioria das referências urbanas da cidade: hospitais, faculdades, escolas, prefeitura municipal, centro de comércio, condomínios fechados e clube desportivo. Sua localização na malha urbana é estratégica para acesso às universidades (UFLA, UNILAVRAS, Gammon e FADMINAS) e outras referências urbanas regionais, também servindo de corredor de acesso para às rodovias BR 265 e MG 35.

A ocupação urbana na sub-bacia apresenta diversos tipos de assentamentos localizados numa região com características variadas: declividade, sistema viário, ruas e avenidas, pontes e túneis, próximos de linha férrea e voçoroca, além da localização do centro da cidade na linha de cumeada oeste, fazendo da rua que chega à praça principal um divisor de águas entre sub-bacias hidrográficas. A malha urbana ocupa quase toda a extensão da sub-bacia, restando poucas áreas desocupadas por edificações (Figura 4).

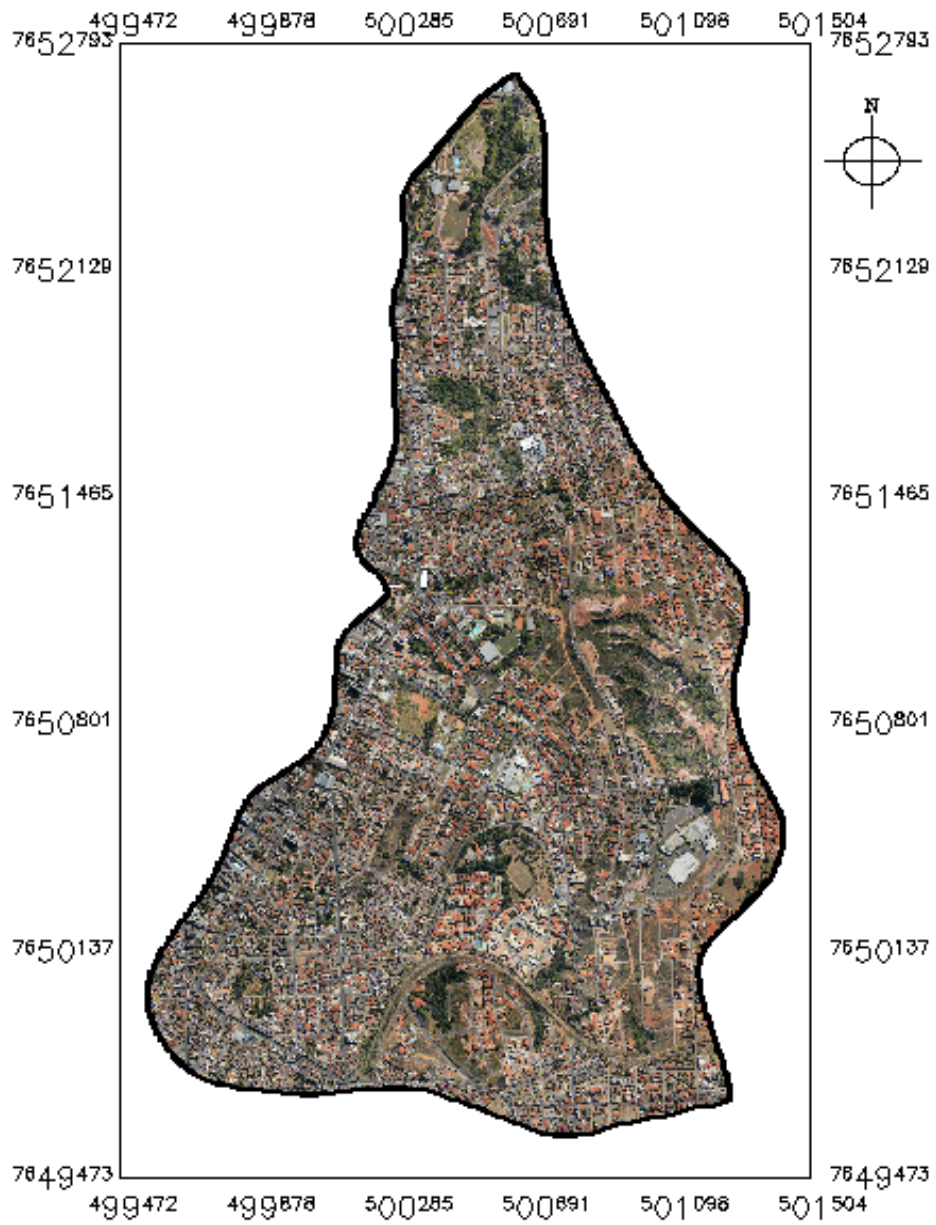


FIGURA 4 Imagem aérea da sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG, no ano de 2006.

CAPÍTULO 1 - ANÁLISE DAS SUPERFÍCIES PERMEÁVEIS E CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA SUB-BACIA DO CÓRREGO CENTENÁRIO

(O capítulo 1 será transcrito no formato do Periódico Ciência e Agrotecnologia e encaminhado para submissão)

RESUMO

É importante, para a utilização racional da terra, o levantamento das características e propriedades dos solos e do meio físico nas áreas urbanas, o qual influencia a existência de maior ou menor vulnerabilidade da degradação ambiental. Este trabalho foi realizado com os objetivos de quantificar e avaliar as áreas com superfícies permeáveis e realizar a caracterização física analisando as interações entre a declividade, solos e uso da terra na sub-bacia do córrego Centenário em Lavras, MG. O mapeamento das áreas que apresentavam superfícies permeáveis foi realizado a partir de digitalização e identificação visual via tela do computador. A declividade foi realizada a partir de modelo numérico do terreno e as classes de solo basearam-se na correlação com as classes de declividade. O mapeamento do uso da terra mostrou que as áreas impermeabilizadas ocupam 188,27 ha e as áreas permeáveis 118,73 ha. A declividade média da sub-bacia varia entre 6% e 40%, com Latossolos localizados em regiões de meia encosta, os solos B texturais B texturais com Cambissolos. Conclui que a sub-bacia do córrego Centenário teve um aumento de seis vezes no volume de escoamento das águas. Pode-se constatar que os córregos Centenário e Santa Casa estão escoando a água drenada de 1,128 ha de área, 4% a mais do que era escoado.

Termos para indexação: superfícies permeáveis, declividade, solos, urbanismo.

ABSTRACT

ANALYSIS OF PERVIOUS SURFACES AND PHYSICAL CHARACTERIZATION OF THE CENTENÁRIO STREAM SUB-BASIN

The rational use of the land requires a survey on both characteristics and properties of soils as well as on the physical environment in urban areas, which influence the degree of environmental degradation vulnerability. This work aimed at quantifying and assessing the areas with permeable surfaces, performing a physical characterization by analyzing the interactions among the slope, soils and land use in the sub-basin of the stream Centenário stream in Lavras-MG. The mapping of the areas with permeable surfaces manually done via computer screen. The terrain declivity was performed from Numerical Models Terrain and the classes of soil were based on the correlation with the classes of declivity. The use of the land mapping showed that the impervious areas measure 188,27 ha and the permeable ones measure 118,73 ha. The medium declivity of the sub-basin ranges from 6 to 40%. The predominant declivity in the sub-basin ranges from 6 to 40%, with Oxisols located in regions of medium declivity, the soil B textural and B textural with Cambisols. It can be concluded that the sub-basin of the Centenário stream increased 6 times in water discharge volume. It was noticed that both Santa Casa and Centenário streams are now discharging drained water from a 1,128-ha area, 4% more than was draining.

Index terms: Pervious surfaces, declivity, soils, urban.

1 INTRODUÇÃO

O rápido e desordenado crescimento das áreas urbanas tem causado grande impacto na gestão dos municípios, os quais raramente conseguem desenvolver a infraestrutura básica e minimizar os impactos no meio ambiente.

A utilização racional dos recursos naturais está intimamente relacionada com a definição do uso da terra, sendo fundamental o conhecimento das suas características (Reis et al., 2004). Para o planejamento de bacias hidrográficas, é indispensável o diagnóstico fisiográfico e sócio-econômico, além da identificação das práticas atuais de uso e manejo.

É importante, para a utilização racional da terra, o levantamento das características e das propriedades dos solos e do meio físico (Assad et al., 1998; Silva et al., 1999; Costa & Alves, 2006). Alguns atributos físicos devem ser considerados na determinação do uso do solo, tais como relevo, solos, tipos e grau de susceptibilidade à erosão. Esses atributos irão fornecer informações sobre o meio ambiente, possibilitando uma avaliação do seu potencial e de suas limitações na organização e na implantação do planejamento (Lepsh, 1983).

As áreas urbanas não devem apresentar fragilidades relacionadas aos aspectos físicos, os quais influenciam a existência de maior ou menor vulnerabilidade da degradação ambiental. Para tanto, a utilização do espaço requer um conhecimento das suas limitações, fragilidades e capacidade produtiva (Simões, 2007).

O conhecimento e o planejamento do uso do solo são ferramentas imprescindíveis para a compreensão de um manejo adequado. Há necessidade de que as áreas manejadas sejam analisadas e utilizadas de forma mais adequada, haja vista as constantes alterações provocadas pela ação do homem no meio ambiente (Dias et al., 2004; Galatti Filho & Campos, 2008).

Atualmente, estudos aplicados no mapeamento da apropriação do solo tornaram-se instrumentos importantes para o gerenciamento da dinâmica das legislações federais, estaduais e municipais, destacando-se na aplicação dos instrumentos aprovados pelo Estatuto da Cidade - Lei Federal nº 10.257/2001 (Casa Civil, 2001), obrigando os municípios com mais de 20.000 habitantes a elaborarem seu plano diretor.

Os produtos derivados do modelo numérico de terreno (MNT), juntamente com informações adicionais da área estudada, permitem o entendimento da distribuição dos atributos em estudo, extraindo cartas complementares com alto valor de informação (Paranhas Filho, 2003; Reis et al., 2004). Estudos têm mostrado que a caracterização da declividade está relacionada com vários processos do meio físico e dos solos (Rodrigues & Brito, 2000; Silva, A. C. et al., 2007; Rocha & Seer, 2008). Para Tonello et al. (2006), a morfometria diferenciada entre as bacias hidrográficas, principalmente em relação à declividade, evidencia a necessidade de manejos específicos para cada uma dessas áreas.

A análise de diversas situações ambientais, como situação de risco, potenciais de uso e necessidade de proteção, entre outras, permite caracterizar um ambiente de forma direta para a utilização, visando à sustentabilidade (Reis et al., 2004). Entretanto, nem sempre essas atividades têm sido ordenadas por planos que visem à ocupação do espaço urbano. Observa-se que a descaracterização irracional de áreas remanescentes tem acarretado o aumento da degradação do meio físico (Borges et al., 1993; Hernandez Filho et al., 1998; Demalto Junior et al., 2003).

O estudo das interações da declividade, solos e uso da terra em bacias hidrográficas urbanas pode ser feito com a utilização de sistemas de informações geográficas (SIGs) (Andrade et al., 1998; Collares, 2000; Pissara et al., 2004; Ippoliti-Ramilo et al., 2005; Pinto et al., 2005; Lacerda et al., 2008; Souza Junior

& Demattê, 2008). Segundo Machado et al. (2003), a principal vantagem do uso dos SIGs é a sua habilidade para analisar a variabilidade espacial, com base na influência de fatores, tais como relevo, tipo de solo e uso da terra, dentre outros.

Nesse sentido, os produtos gerados tornaram-se importantes para analisar as dinâmicas das bacias hidrográficas urbanas, tornando os dados manuseados em SIGs, aliados a imagens de alta resolução espacial, ferramentas valiosas para monitoramento e fiscalização das interferências do homem na Terra (Centeno et al., 2003; Gonçalves et al., 2004; Pereira Junior, 2004).

Neste contexto, este trabalho foi realizado com os seguintes objetivos: 1) quantificar e avaliar as áreas com superfícies permeáveis na sub-bacia do córrego Centenário em Lavras, MG e 2) realizar a caracterização física da sub-bacia hidrográfica do Córrego Centenário, analisando as interações entre declividade, solos e uso da terra.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde à sub-bacia do córrego Centenário, localizada na área urbana de Lavras, MG, entre as coordenadas UTM 499.472; 501.504 m E e 7.649.473; 7.852.793 m N, fuso 23 K (Figura 1), considerada cidade polo na região. O município insere-se na região administrativa Alto Rio Grande, segundo a divisão estabelecida em 1997, pelo estado de Minas Gerais, composta por 22 municípios. As divisões de planejamento definem a situação do município na microrregião de Lavras, região Sul de Minas. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2008), a população é estimada em 87.421 habitantes, numa área da unidade territorial de 565 km².

A altitude varia entre 800 a 1.200 m. O clima, conforme a classificação climática de Köppen, é Cwa. A temperatura média anual é de 20,4°C e o total de precipitação normal anual é de 1.460 mm (Dantas et al., 2007).

2.2 Base de dados

A base de dados foi composta pelas informações contidas no banco de dados da Prefeitura Municipal de Lavras, correspondentes ao levantamento cadastral da cidade efetuado nos anos de 1999 e 2006, contendo as curvas de nível e rede de drenagem, ortofotografias digitais coloridas, com resolução espacial de 10 x 10 cm e levantamento cadastral imobiliário.

As ortofotografias digitais, levantamento em 2006, armazenadas no banco de dados da Prefeitura estavam no formato ArcMap, segmentadas e com duas características de borda na mesma imagem, valores dos pixels de 0 (preto) e de 255 (branco). Foi necessário exportar as imagens segmentadas para o formato Geo tif, as quais foram corrigidas por técnicas de processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.

Utilizou-se o programa ENVI para efetuar a correção da mistura na borda de cada imagem, utilizando ferramentas de máscara e parâmetros de mosaicagem. Inicialmente, foi construída a máscara a partir da imagem carregada, onde os parâmetros de amostras, linhas e bandas de entrada foram definidos automaticamente. Posteriormente, foram introduzidos os níveis de cinza máximos, utilizando o valor de 255 para mínimo e máximo e selecionando a exclusão destas áreas no processamento da imagem. A máscara gerada substituiu os valores dos pixels localizados nas laterais da imagem, que apresentavam valor de 255, elaborando uma nova máscara com valores de zero (preto). A máscara foi salva na memória do programa e, em seguida, aplicada na imagem com valor de fundo da imagem de saída igual a zero (preto) e exportada no formato hdr. A finalização da composição das imagens da sub-bacia foi realizada com o mosaico georreferenciado das ortofotografias. As ortofotos foram importadas e tiveram as propriedades editadas. Definiu-se ignorar os valores de dados iguais 0 (preto). Após a mosaicagem, a imagem foi exportada no formato geo.tif.

Os dados armazenados do banco de dados de 1999, curvas de níveis com equidistância de 5 metros e os pontos cotados em cumes, vales e planícies foram editados manualmente, por meio de um sistema CAD. Por esse processo, os dados de elevação e feições geográficas existentes foram atualizados e armazenados em formato digital, possibilitando a representação com valores no plano z para as curvas de nível e pontos cotados. Posteriormente, foi realizada a vetorização do limite da área, levando em consideração as linhas de cumeadas. As informações editadas de curvas de nível, pontos cotados e limite da sub-bacia foram exportadas para formato dxt, para serem manuseadas por modelo numérico de terreno.

A base de dados e as análises em SIG foram realizadas por meio do programa SPRING (Camara et al., 1996).

2.3 Mapa de uso da terra

Foi realizado o mapeamento das áreas que apresentavam superfícies permeáveis, locais onde a superfície do solo não apresentasse edificações, áreas cimentadas, asfalto, telhados ou materiais impermeabilizantes.

A partir do mosaico georreferenciado da região, mapeamento de 2006, projeção no sistema Universal Transverso de Mercator (UTM), modelo da terra SAD 69, com resolução espacial de 10 x 10 cm e composição colorida (cores vermelha, verde e azul). Os dados foram digitalizados na tela de computador em ambiente CAD, a partir da identificação visual via tela. Realizaram-se visitas de campo para reconhecimento das áreas não identificadas como superfícies permeáveis. Para tanto foi utilizado o levantamento cadastral da cidade, facilitando a classificação destes locais.

A interpretação da imagem foi realizada de acordo com o procedimento convencional de fotointerpretação, observando-se as características dos elementos de reconhecimento, tonalidade, textura, padrão, forma, dimensão, sombra, cor, sítio topográfico e relações dos objetos representados (Marchetti, 1978).

As áreas classificadas como superfícies permeáveis foram delimitadas por polígonos e importadas para ambiente de sistemas de informação geográfica (Pereira et al., 2002). Os mapas temáticos vetoriais foram convertidos e manipulados no formato matricial, para, posteriormente, serem correlacionados com a metodologia proposta por Tucci (2000), em que se consideram áreas impermeáveis como variável independente, podendo analisar a vazão específica de bacias urbanas em função da área impermeável.

2.4 Mapa de declividade

Para a análise digital do terreno, foi gerado um modelo numérico do terreno (MNT), baseado nas representações das curvas de nível e pontos

cotados. Iniciou-se com a representação “Triangular Irregular Network” (TIN), triangulação de Delauney, utilizando como restrições as redes de drenagem. Em seguida, foi gerada a grade retangular, tendo resolução de 5 x 5 m e interpolador linear. Os produtos gerados pelas grades possibilitaram diferenciar a elevação entre os pixels, necessário para calcular a declividade. O resultado da declividade foi o fatiamento da matriz de declividade e definição das classes, empregando para as mesmas intervalos variáveis. O mapa de declividade elaborado a partir da grade retangular, com saída em declividade e unidade em porcentagem, foi estabelecido seguindo a metodologia de De Biase (1993) apresentada na Tabela 1.

TABELA 1 Correlação entre classes de declividade e relevo.

Relevo	Classes
Várzea	0%-3%
Plano a suave ondulado	3%-6%
Suave ondulado a ondulado	6%-12%
Ondulado a forte ondulado	12%-20%
Forte ondulado a montanhoso	20%-40%
Montanhoso	>40%

2.5 Mapa das classes de solos

Para quantificar a ocorrência dos solos em relação à elevação e à declividade do terreno, efetuou-se a tabulação cruzada dos planos de informação referentes ao mapa de classes de declividade e o mapa de elevação.

O mapa de solos, obtido pelo mapa de declividade da área da sub-bacia por fatiamento da matriz de declividade, foi utilizado para realizar a confecção do mapa, baseando-se no modelo estabelecido por Andrade et al. (1998), correlacionando as classes de solo e as classes de declividade (Tabela 2). Com esse dispositivo, foi possível classificar os solos característicos de várzea a topo de morro, além de permitir o cálculo das áreas de várzea ou planície inundável,

delimitando as localidades que se encontravam os solos Gleissolos Hápticos e Neossolos Flúvicos, próximos à rede de drenagem.

TABELA 2 Correlação entre classes de declividade e classes de solos.

Classes de declividade	Classes de solos
0%-3% (Várzea)	Gleissolos Hápticos e Neossolos Flúvicos
0%-3% (Topo)	Latossolos
3%-12%	Latossolos
12-20%	Solos B texturais
20-40%	Solos B texturais e Cambissolos
>40%	Cambissolos e Neossolos Litólicos

2.6 Diagnóstico do uso do solo

Os resultados encontrados nos mapas de declividade, uso da terra e classes de solo foram transformados no formato matricial para serem analisados sob a forma de expressões algébricas definidas em Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL) e tabulação cruzada, ambos módulos do SPRING. Nesta etapa, foram desenvolvidos os cruzamentos dos vários planos de informação. Para cada operação de cruzamento são constituídas regras, em que estão definidos os planos de informação (PI) envolvidos. Esse dispositivo permitiu calcular as áreas das interseções entre as classes dos mapas. Com base na análise das informações, foi elaborado um mapa com as classes de permeabilidade, declividade e solo mais ocorrentes para a referida região.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Classificação das superfícies permeáveis

A classificação das superfícies permeáveis na sub-bacia hidrográfica pode ser observada na Figura 5.

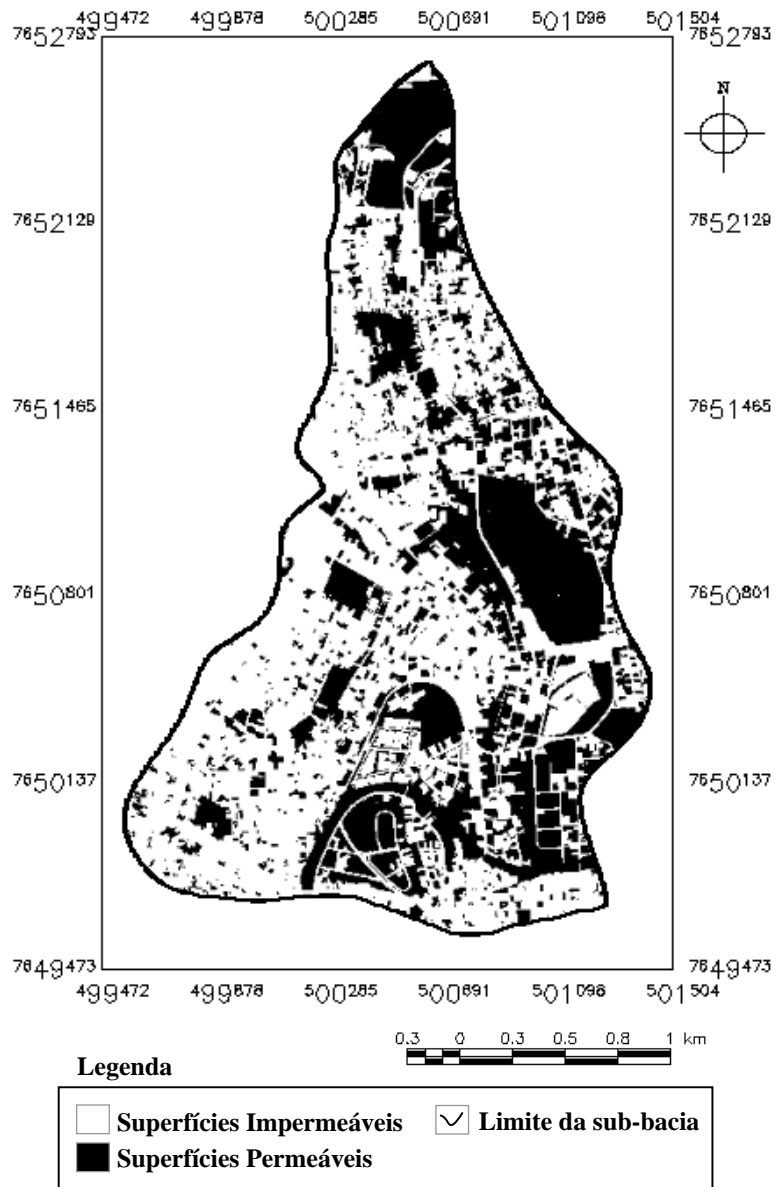


FIGURA 5 Regiões classificadas como superfícies permeáveis e superfícies impermeáveis, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG (mapeamento de 2006).

A sub-bacia hidrográfica do Córrego Centenário possui uma área de 307 ha. Da área mapeada, 61% foram impermeabilizadas (telhados, asfalto, áreas cimentadas, áreas edificadas, etc.), comprometendo a drenagem da água pluvial nos corpos receptores. Conforme Schueler (1994), a qualidade dos fluxos receptores começa a degradar quando a superfície impermeável ultrapassa mais que 10% da área total de uma bacia hidrográfica. As áreas com superfícies permeáveis possuem 118,73 ha, correspondendo a 39% da área da sub-bacia.

A classificação da sub-bacia mostrou que a porção leste apresenta-se com a fragmentação das superfícies permeáveis, caracterizando o início da apropriação dos lotes. A região oeste tem poucas áreas com solo exposto e vegetação, podendo-se constatar que esta região está adensada, com grandes áreas impermeabilizadas, as quais prejudicam a sustentabilidade da região.

Tucci (2000) relacionou o aumento do volume de escoamento superficial em bacias urbanas em função da porcentagem de impermeabilização da área da bacia hidrográfica e observou que superfícies impermeabilizadas em 20%, 30%, 60% e 80% produziram, respectivamente, aumentos aproximados de 2, 3, 6 e 8 vezes. O aumento da vazão específica para as mesmas porcentagens de impermeabilização da bacia produziram, respectivamente, aumentos aproximados de 6, 9, 19 e 26 vezes. Nesse sentido, a sub-bacia do córrego Centenário teve um aumento de 6 vezes no volume de escoamento superficial das águas e um aumento da vazão específica de 19 vezes com relação à condição rural. Para Pompeo (2000), o excessivo parcelamento do solo e, conseqüentemente, a impermeabilização das superfícies são os principais fatores que provocam as enchentes nas áreas urbanas.

A alta resolução das ortofotografias digitais de 10 x 10 cm proporcionou um mapeamento detalhado dos quarteirões urbanos. A possibilidade do detalhamento minucioso dos alvos exigiu um tempo maior para a classificação das superfícies, pois o volume de dados trabalhado era grande. Segundo Borges

et al. (1993), as fotografias aéreas proporcionam um melhor detalhamento na identificação do uso do solo; as diferentes características dessas imagens possibilitam caracterizar as ocorrências e as distribuições das diversas classes de uso.

O aumento da resolução espacial em imagens e as aplicações em áreas urbanas possibilitam uma melhor qualidade no planejamento e no monitoramento de diversos atributos das cidades (Antunes & Centeno, 2007). As imagens facilitam a atualização das informações cadastrais e, quando associadas a outras fontes de dados, possibilitam diversos estudos voltados às alterações dos ambientes urbanos, entre eles estudos de impermeabilização do solo. De acordo com Centeno et al. (2003), a classificação em imagens de alta resolução espacial mostrou ser uma ferramenta valiosa no estudo urbano, pois permite a discriminação dos elementos que compõem a paisagem urbana, apresentando bons resultados.

3.2 Declividade

Pelos dados da Tabela 3, pode-se verificar que a classe de declividade predominante é a de 12% a 20%, com 35,86% da área apresentando relevo ondulado a forte ondulado, seguida da classe de 6% a 12% de declividade, que representou 30,22% da área mapeada. Verificou-se que a sub-bacia hidrográfica caracteriza-se como de média declividade. Segundo Dias et al. (2004), a expansão urbana ocorre com segurança em declividade de até 30%. No caso de ocupação em áreas com o gradiente topográfico acentuado, há a necessidade de adoção de medidas preventivas. O gradiente topográfico mostra que as declividades baixas são mais propícias para a ocupação, classes que variam entre 0% a 20%. Em áreas de boa drenagem e mantidos os fatores de formação do solo, quanto menor a declividade maior é a taxa de acúmulo e o grau de humificação da matéria orgânica. A concentração da matéria orgânica deve

diminuir com o aumento da declividade e com a consequente diminuição da estabilidade (Silva, A. C. et al., 2007).

TABELA 3 Classes de declividade da sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

Categorias	Classes	Declividade	
		(ha)	(%)
Plano	0%-3%	12,00	3,90%
Plano a suave ondulado	3%-6%	26,00	8,68%
Suave ondulado a ondulado	6%-12%	93,00	30,22%
Ondulado a forte ondulado	12%-20%	111,00	35,86%
Forte ondulado a montanhoso	20%-40%	55,00	18,00%
Montanhoso	>40%	10,00	3,34%
Total		307,00	

As classes que variam entre 20% a 40% e >40% ocupam 21,34% da área mapeada, regiões que necessitam de cuidados na apropriação do solo, por se tratar de uma declividade elevada, mostrando, sob o aspecto estritamente da inclinação de encostas, um elevado potencial erosivo pelos processos ligados ao sistema de encostas e interflúvios. Nas classes entre 20% a >40%, os principais fatores que influenciam a erosão do solo, interligados a outros, contribuem para a velocidade das águas provenientes de escoamento superficial, carreando grande quantidade de sedimentos, ocasionando perdas de solos e formação de processos erosivos (Dias et al., 2004; Tominaga, 2007).

Segundo Lacerda et al. (2008), no município de Lavras, na porção sul, predominam relevos planos a ondulados, enquanto na parte norte, em direção ao vale do Rio Grande, o relevo é mais dissecado, portanto, com porções de declividade mais acentuadas. A classe de declividade de 0 a 3 cm.m-1 é mais expressiva ao longo das planícies de inundação dos principais rios da região e seus principais tributários. As classes de declividades de 0 a 12 e 12 a 24 cm.m-1 ocorrem em proporções aproximadamente equivalentes; já a classe de declive de 24 a 45 cm.m-1 é menos frequente. De modo geral, a classe de declividade

variando de 24 a 45 cm.m-1 em associação com a classe >45 cm.m-1 ocorre de maneira esparsa, constituindo as porções mais montanhosas do relevo da região.

Segundo Fernandes et al. (2007), a declividade representa um dos fatores de maior influência nos processos ligados às condições de risco à erosão, a partir da associação com outros elementos do meio físico. Dessa forma, os mapas de declividade são ferramentas importantes para estudos de caráter ambiental, principalmente nas dinâmicas de processos ligados a fatores erosivos. Pompeo (2000) explica que, para alcançar a sustentabilidade, a construção de um banco de dados com informações da região de interesse e a sua utilização para coleta e análise das informações visam identificar áreas urbanas sujeitas a riscos, podendo a partir das análises propor a restrição dos usos do solo. A classificação da declividade da sub-bacia do córrego Centenário é apresentada na Figura 6.

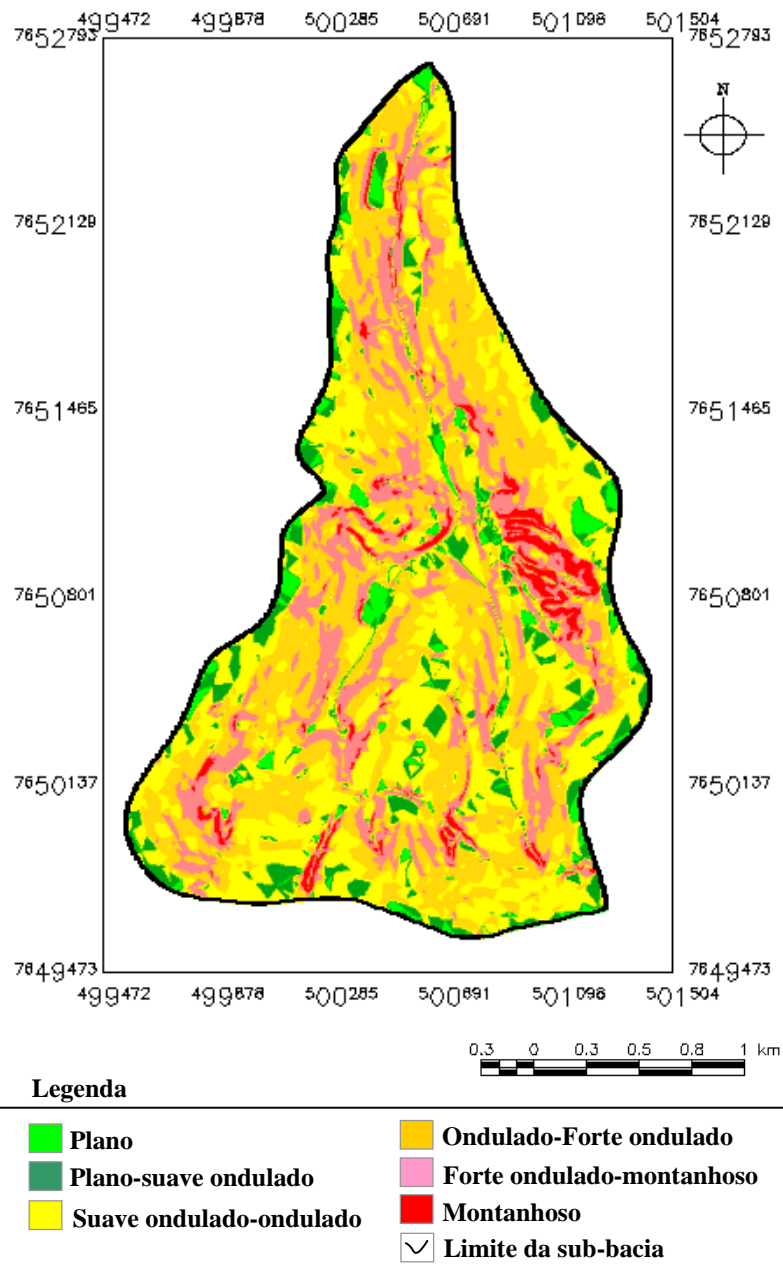


FIGURA 6 Classes de declividade na sub-bacia do córrego Centenário.

3.3 Solos

Pelos dados da Tabela 4, pode-se observar que os Latossolos relacionados às classes 3%-12% de declividade foram os solos mais expressivos, ocupando 39,13% da área total da sub-bacia, enquanto nas áreas de topo de morro os Latossolos ocupam 8,37 ha das áreas mapeadas. Os Latossolos predominaram na classificação de solos em outros trabalhos (Ippoliti-Ramilo et al., 2005; Souza Junior & Demattê, 2008; Lacerda et al., 2008).

Segundo Pinto et al. (2005), os Latossolos foram os solos mais expressivos na bacia hidrográfica do ribeirão Santa Cruz, em Lavras, apresentando características favoráveis à recarga do lençol freático. De acordo com Pissarra et al. (2004), os Latossolos são mais adequados às atividades urbanas.

TABELA 4 Distribuição das classes de solo na sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

Classes de solos	Permeável (ha)	Sub-bacia (%)
Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos	4,00	1,30
Latossolos (topo)	8,37	2,73
Latossolos	120,12	39,13
Solos B texturais	110,73	36,07
Solos B texturais e Cambissolos	55,62	18,12
Cambissolos e Neossolos Litólicos	10,30	3,36

Os solos B texturais correspondem a 36,07% da área total da sub-bacia e a classe solos B texturais associadas à classe Cambissolos ocorreu em 18,12%. Pinto et al. (2005) explicam que a taxa de infiltração e retenção de água neste ambiente pode ser considerada boa, mas apresenta restrições no horizonte B. Lacerda et al. (2008) observaram a presença de Latossolos e solos com horizontes B textural e B nítico na classe de declividade de 0 a 24 cm.m⁻¹ e, na classe de declive de 24 a 45 cm.m⁻¹, verificou-se o desenvolvimento de

Cambissolos associados aos solos com horizontes B textural e B nítico. Na classe >45 cm.m-1, porções mais montanhosas do relevo da região predominam Cambissolos, Neossolos Litólicos e afloramentos rochosos.

Os Cambissolos e os Neossolos Litólicos ocorreram em 10,30 ha, 3,36% da sub-bacia. Estas classes de solo, conjuntamente com os Latossolos encontrados nas áreas de topo, são regiões estratégicas para o cumprimento das legislações que visam à preservação do meio ambiente. Estas áreas correspondem a 18,67 ha da área mapeada e a 6% da área total da sub-bacia.

As classes de Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos corresponderam a 4 ha dos 307 ha da sub-bacia. A ocorrência de solos em áreas de várzea são aluvionares, muitas vezes ricos em matéria orgânica e restritos a planícies aluvionares adjacentes a rios (Collares, 2000).

3.4 Diagnóstico do uso do solo

Por meio do cruzamento das informações contidas nas classes de superfícies permeáveis (mapeamento de 2006) e declividade apresentadas na Tabela 5, podem-se verificar as áreas das interseções entre as classes dos mapas.

TABELA 5 Tabulação entre superfícies permeáveis e declividade, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

Categorias	Classes	Permeável (ha)	Declividade (ha)
Plano	0%-3%	4,32	12,00
Plano a suave ondulado	3%-6%	8,33	26,00
Suave ondulado a ondulado	6%-12%	29,00	93,00
Ondulado a forte ondulado	12%-20%	37,06	111,00
Forte ondulado a montanhoso	20%-40%	30,00	55,00
Montanhoso	>40%	9,00	10,00
Total		117,71	307,00

As áreas ocupadas por edificações e superfícies impermeáveis ocupam 191 ha da sub-bacia. Verifica-se que a cidade apropriou-se, inicialmente, das

regiões com declividade média, fazendo com que as classes de plano a suave ondulado apresentassem pouca ocupação com superfícies impermeáveis. A maior concentração de edificações encontra-se nas classes suave ondulado-ondulado, com 64 ha e ondulado-forte ondulado, com 73,9 ha. Dos 38 ha da declividade variando de 0% a 6%, 25,35 ha são ocupados por área construída, 12,6 ha por áreas permeáveis e, na declividade variando de 20% a 40%, 30 ha estão permeáveis e 256 ha impermeáveis.

O aumento da impermeabilização do solo, acrescido dos detrimientos ocasionados pelas ocupações irregulares, evidencia claramente os danos ambientais acarretados por vários fatores, como exposição dos solos, assoreamentos, voçorocas, apresentados por Fernandes et al. (2007); a perda laminar do solo, por Tucci (2002); o aumento da vazão, por Cruz et al. (1998), Centeno et al. (2003) e Tucci (2000, 2002); o escoamento superficial, por Tucci (2000) e Centeno et al. 2003), entre outros fatores.

As regiões que possuem características com pouca declividade nas partes baixas, apresentam menos ocupação urbana devido às suas características serem de áreas saturadas e normalmente alagadiças, com lençol freático próximo à superfície e com pouco grau de inclinação, prejudicando o escoamento superficial das águas pluviais. Segundo Costa & Alves (2006), essas regiões possuem restrições no uso urbano, tendo em vista a dificuldade da execução das fundações das edificações, aterros e o alto custo das obras de drenagem, escavações e das próprias edificações. Para Cruz et al. (1998), os projetos de drenagem pluvial envolvem grandes esforços técnicos e têm custos elevados, além de poderem ocasionar alguns problemas ambientais.

Para Robaina et al. (2001), a característica hidromórfica dos solos localizados nas áreas de várzea oferece riscos à ocupação, como inundações, deslizamentos próximo às margens e instabilidade para as construções. Pode-se verificar, no mapa de uso da terra (Figura 4), que a cidade cresceu, inicialmente,

nas regiões em que as soluções construtivas eram executadas sem a necessidade da utilização de técnicas avançadas e profissionais qualificados.

Para as edificações que ocupam as declividades entre 20% a 40%, regiões suscetíveis à erosão, verifica-se, nas visitas a campo, que as soluções estruturais são adequadas para as condições da topografia, minimizando as ocorrências de riscos na sub-bacia. As regiões com declividade acima de 40% têm 9 ha com superfícies permeáveis e as áreas impermeabilizadas nesta classe são de 1 ha, do total de 10 ha classificados. Pode-se considerar que a declividade abrupta e a dificuldade de apropriar estes espaços fizeram com que estes ambientes fossem preservados, diferente do que ocorreu nas classes de menor declividade.

Isso evidencia, no cruzamento das informações, que os locais considerados como declividade média, classes de declive variando de 6% a 20%, 21,5% da sub-bacia, possuem superfícies permeáveis e 45% com superfícies impermeáveis. As regiões não ocupadas possuem 66 ha classificados com superfícies permeáveis, áreas que apresentam elevado potencial para preservar o meio ambiente na cidade, podendo ser utilizadas como áreas de preservação permanente urbanas (APPUs).

A interseção da classe de superfícies permeáveis e classes de solos da área mapeada (Tabela 6) mostra que as classes de solos predominantes na área de estudo são os Latossolos (12%), os solos B texturais (12%) e os solos B texturais e os Cambissolos (9%).

As áreas de várzea e topo de morro foram classificadas com 2,19 ha e 2,17 ha de superfícies permeáveis. Nas regiões ocupadas por Latossolos, uma menor erosão hídrica favorece o acúmulo de matéria orgânica, ocasionando, com o passar do tempo, o aumento da sua humificação. Na meia encosta, a erosão hídrica remove parcialmente a matéria orgânica do solo, dificultando seu acúmulo e humificação (Bertoni & Lombardi Neto, 1995).

TABELA 6 Tabulação entre superfícies permeáveis e classes de solos, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

Classes de solos	Permeável (ha)	Sub-bacia (%)
Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos	2,19	0,71
Latossolos (Topo)	2,17	0,71
Latossolos	37,33	12,16
Solos B texturais	37,06	12,07
Solos B texturais e Cambissolos	30,00	9,77
Cambissolos e Neossolos Litólicos	9,00	2,93
Total	117,75	38,35

A infiltração na classe de 3%-12% varia com a classe de solo e a declividade. Sua intensidade decresce de Latossolo para solos hidromórficos e, quanto menor a declividade, menor será a contribuição para o deflúvio (Galatti Filho & Campos, 2008). A classe de declividade de 12%-20% com características de solos com B texturais, tem 37 ha da área mapeada, segundo Silva et al. (1999). No que se refere às características físicas do solo, apresentam um aumento do teor de argila entre o horizonte A e o horizonte B, mudança que proporciona uma descontinuidade no sistema poroso. A água penetra com mais facilidade no horizonte superficial mais arenoso e mais lentamente no horizonte subsuperficial argiloso. Isso facilita a erosão, particularmente quando a maior parte desses solos está localizada em relevos forte ondulados. Para Resende et al. (1988), a grande diferença entre os teores de argila (textura) no horizonte A (mais arenosos) e B (mais argilosos) indica uma mudança na permeabilidade, diminuindo em profundidade.

As áreas classificadas em solos B texturais e Cambissolos possuem 30 ha das superfícies permeáveis. Para Tavares et al. (2003), a predominância de Cambissolos associados ao relevo forte ondulado mostra que estas áreas possuem suscetibilidade a processos erosivos e, por consequência, degradação das terras e recursos hídricos em função de ações antrópicas. Na Figura 7 é

apresentado um mapa com as faixas de declividade mais ocorrentes e os respectivos solos para a referida região.

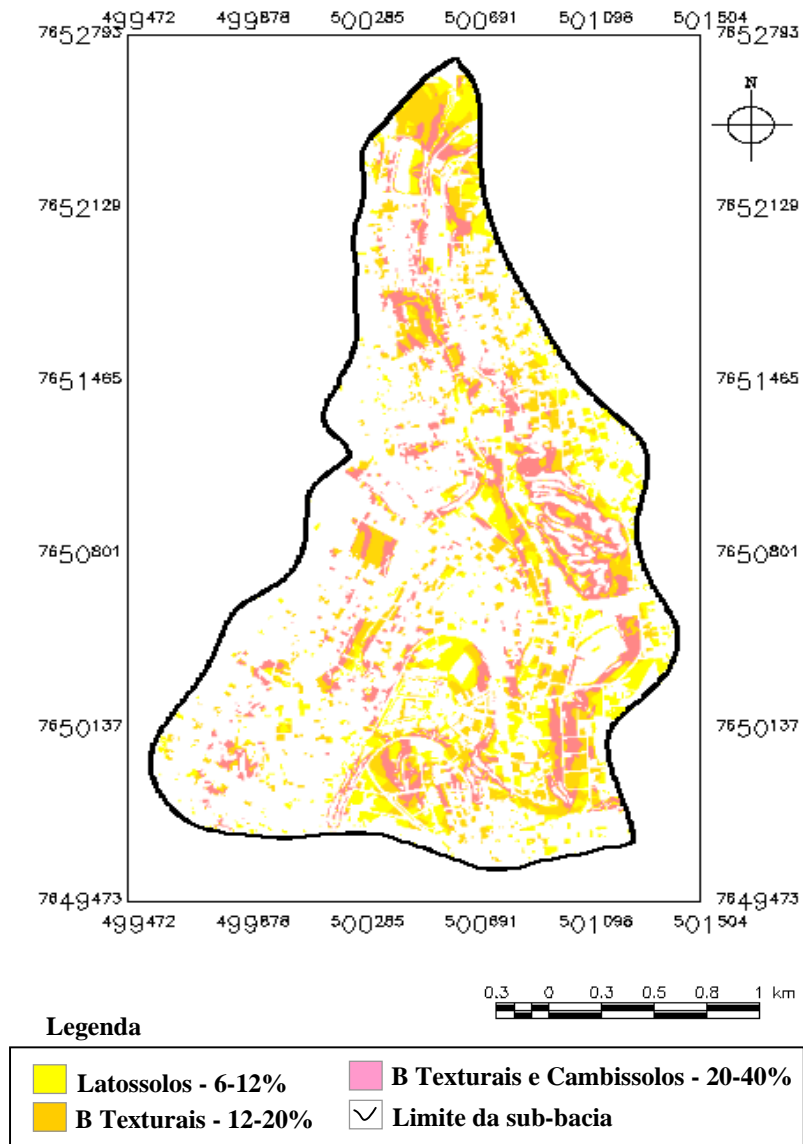


FIGURA 7 Carta-Síntese: permeabilidade, declividade e solos na sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

4 CONCLUSÕES

O mapeamento do uso da terra utilizando ortofotografias do ano de 2006 mostrou que as áreas com superfícies impermeabilizadas possuem 188,27 ha, 61% da área mapeada e as áreas com superfícies permeáveis possuem 118.73 ha, compreendendo 39% da área da sub-bacia.

A sub-bacia do córrego Centenário está escoando a água drenada de 1.128 ha, 4% a mais do que era escoado quando a sub-bacia não era apropriada por superfícies impermeáveis e um aumento da vazão específica de 19 vezes com relação à condição rural, necessitando, assim, de medidas de controle para a vazão das águas.

Para a sub-bacia, propõe-se a adoção de instrumentos na legislação do município que reduzam o adensamento e a verticalização das edificações na região e implantem áreas de preservação permanente nas regiões onde encontram-se solos Cambissolos e Neossolos Litólicos, Latossolos (Topo) e Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos, minimizando os impactos da impermeabilidade e danos à sub-bacias hidrográficas localizadas a jusante.

Para as áreas classificadas com superfícies permeáveis, os respectivos solos nas classes de declividade são: nas áreas de várzea, possui os solos Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvico, com 2,19 ha; nas regiões de topo de morro os Latossolos, com 2,17 ha; na declividade de 3%-12% os Latossolos, com 37,33 ha; na declividade 12%-20%, os solos B texturais, com 37,00 ha; na declividade de 20%-40%, os solos B texturais e Cambissolos com 30,00 ha e, na declividade acima de 40%, os Cambissolos e os Neossolos Litólicos, com 9 ha. A declividade predominante na sub-bacia varia de 6% a 40% e, com os Latossolos localizados em regiões de meia encosta, os solos B texturais e B texturais com Cambissolos em regiões declivosas.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, H.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C.; RESENDE, R. J. T. P.; ESTEVES, D. R.; BRASIL, J. K.; ROSA, E. R. Diagnóstico ambiental do município de Lavras com base em dados georreferenciados do meio físico: IV – principais grupamentos de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas, MG. **Anais...** Poços de Caldas: SBEA, 1998. v. 4, p. 442-443.
- ANTUNES, A. F. B.; CENTENO, J. A. S. Aplicações de dados sensores remotos de alta resolução em zonas urbanas. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento remoto e Sig avançados**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. cap. 18, p. 189-197.
- ASSAD, E. D.; SANO, E. E.; MEIRELLES, M. L.; MOREIRA, L. Estruturação de dados geoambientais no contexto de microbacia hidrográfica. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA/SPI/CPAC, 1998. cap. 7, p. 119-137.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 2. ed. Piracicaba: Ceres, 1995. 400 p.
- BORGES, M. H.; PFEIFER, R. M.; DEMATTÊ, J. A. M. Evolução e mapeamento do uso da terra, através de imagens aerofotogramétricas e orbitais em Santa Bárbara D'Oeste (SP). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 50, n. 3, p. 365-371, out./dez. 1993.
- CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J.; MITSUO, F. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, São José dos Campos, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
- CASA CIVIL. Presidência da Republica. **Lei n. 10.257**, 10 jul. 2001. Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm>. Acesso em: 13 fev. 2009.

CENTENO, J. A. S.; ANTUNES, A. F. B.; TREVISAN, S.; CORREA, F. Mapeamento de áreas permeáveis usando uma metodologia orientada a regiões e imagens de alta resolução. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 55, p. 48-56, jul. 2003.

COLLARES, E. G. **Avaliação de alterações em redes de drenagem de microbacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas**: aplicação na bacia hidrográfica do rio Capivari-SP. 2000. 211 p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, São Carlos.

COSTA, A. N.; ALVES, M. da G. Potencial de uso e ocupação urbana do solo no município de Campos dos Goytacazes-RJ, utilizando mapeamento geológico-geotécnico e técnicas de geoprocessamento. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 58, p. 175-183, ago. 2006.

CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. Controle do escoamento com retenção em lotes urbanos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 3, n. 4, p. 19-31, out./dez. 1998.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

DE BIASE, M. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista de Geografia**, São Paulo, v. 6, p. 45-60, 1993.

DEMALTO JUNIOR, O.; CAMPOS, S.; CARDOSO, L. G.; BARROS, Z. X. de. Determinação da capacidade de uso das terras no município de São Manuel-SP. **Irriga**, Botucatu, v. 8, n. 2, p. 142-149, maio/ago. 2003.

DIAS, J. E.; GÓES, M. H. B.; SILVA, J. X.; GOMES, O. V. O. Geoprocessamento aplicado a análise ambiental: o caso do município de Volta Redonda-RJ. In: SILVA, J. X.; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento & análise ambiental**: aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. cap. 4, p. 143-177.

FERNANDES, G. T.; CONDE, G. G.; GONÇAVES, G. H.; PESCARA, I. C.; TORRES, M. G.; BIAS, E. S.; CASTRO, C. F. S.; ZARA, L. F. Mapa de risco de erosão e contaminação superficial da microbacia do correço Samambaia – DF/Brasil. **Estudos**, Goiânia, v. 34, n. 11/12, p. 861-873, nov./dez. 2007.

GALATTI FILHO, F. A.; CAMPOS, S. Geoprocessamento aplicado na distribuição espacial da capacidade de uso de uma microbacia. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 2, p. 205-219, abr./jun. 2008.

GONÇALVES, C. D. A. B.; SOUZA, Í. M.; PEREIRA, M. N.; FREITAS, C. C. **Análise do ambiente urbano visando a inferência populacional a partir do uso de dados de sensoriamento remoto orbital de alta resolução**. São José dos Campos: INPE, 2004. 63 p.

HERNANDEZ FILHO, P.; PANZONI, F. J.; PEREIRA, M. N. Mapeamento da fitofisionomia e do uso da terra de parte da bacia do Alto Taquari mediante o uso de imagens TM/Landsat e HRV/Spot. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, numero especial, p. 1755-1762, out. 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Minas**

Gerais: Lavras. 2008. Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 06 nov. 2008.

IPPOLITI-RAMILO, G. A.; COSTA, L. M. da; ERNESTO, C.; SCHAEFER, G. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; GAGGERO, M. R. Análise digital do terreno: ferramenta na identificação de pedoformas em microbacia na região de “Mar de Morros” (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 2, p. 269-276, maio/abr. 2005.

LACERDA, M. P. C.; QUEMÉNÉUR, J. J. G.; ANDRADE, H.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C. Estudo da relação pedomorfogeológica na distribuição de solos com horizontes b textural e b nítico na paisagem de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 271-284, jan./fev. 2008.

LEPSCH, I. F. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. 175 p.

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A.; XAVIER, A. C. Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 727-733, jul./ago. 2003.

MARCHETTI, D. A. B. **Princípios de fotogrametria e fotointerpretação**. São Paulo: Nobel, 1978. 257 p.

PARANHAS FILHO, A. C.; FIORI, A. P.; DISPERATI, L.; LUCCHESI, C.; CIALI, A.; LASTORIA, G. Avaliação multitemporal das perdas de solos na bacia do rio Taquarizinho-MS. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, n. 52, p. 49-59, 2003.

PEREIRA, E. A.; SOUZA, A. de P.; CAMPOS, S. Mapeamento do uso do solo nas sub-bacias dos córregos São José e Água do Ventura, Bauru (SP). **Irriga**, Botucatu, v. 7, n. 3, p. 191-200, set./dez. 2002.

PEREIRA JUNIOR, E. R.; SILVA, J. X.; GÓES, M. H. B.; OLIVEIRA, W. J. Geoprocessamento aplicado a fiscalização de áreas de proteção legal: o caso do município de Linhares-ES. In: SILVA, J. X.; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento & análise ambiental: aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. cap. 3, p. 115-141.

PINTO, L. V. A.; FERREIRA, E.; BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C. Caracterização física da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG e uso conflitante da terra em suas áreas de preservação permanente. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 49-60, jan./mar. 2005.

PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 297-305, mar./abr. 2004.

POMPEO, C. A. Drenagem urbana sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 15-23, jan./mar. 2000.

REIS, T. E. da S.; BARROS, O. N. F.; REIS, L. C. Utilização de sistema de informações geográficas para obtenção das cartas de solo e de declividade do município de Bandeirantes-PR. **Revista Geografia**, Londrina, v. 13, n. 1, p. 3-17, jan./jun. 2004.

RESENDE, M.; CURTI, N.; SANTANA, D. P. **Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1988. 81 p.

ROBAINA, L. E.; BERGER, M. G.; DE CRISTO, S. S. V. Análise dos ambientes urbanos de risco do município de Santa Maria-RS. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 23, p. 139-152, 2001.

ROCHA, M. B. B.; SEER, H. J. Fisiografia e uso da terra no município de Araxá, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 60, p. 111-118, ago. 2008.

RODRIGUES, S. C.; BRITO, J. L. S. Mapeamento geomorfológico de detalhe: uma proposta de associação entre o mapeamento tradicional e as novas técnicas em geoprocessamento. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 1, n. 1, p. 1-6, set. 2000.

SCHUELER, T. R. The importance of imperviousness. **Watershed Protection Techniques**, Ellicott City, v. 1, n. 3, p. 100-111, 1994.

SILVA, A. B. da; BRITES, R. S.; SOUZA, A. R. de. Caracterização do meio físico da microbacia Quatro Bocas, em Angelim, PE, e sua quantificação por sistema de informação geográfica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 109-117, jan. 1999.

SILVA, A. C.; TORRADO, P. V.; PÉREZ, M. G.; MARTIN NETO, L.; VASQUEZ, F. M. Relações entre matéria orgânica do solo e declividade de vertentes em toposseqüência de latossolos do sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 1059-1068, set./out. 2007.

SIMÕES, P. M. L. A. **Alteração do uso do solo no município de Ibitaré e conseqüências associadas**. 2007. 80 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SOUSA JUNIOR, J. G. de A.; DEMATTÊ, J. A. M. Modelo digital de elevação na caracterização de solos desenvolvidos de basalto e material arenítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 449-456, jan./fev. 2008.

TAVARES, A. C. F.; MORAES, J. F. L. de; ADAMI, S. F.; LOMBARDI NETO, F.; VALERIANO, M. de M. Expectativa de degradação dos recursos hídricos em microbacias hidrográficas com auxílio de sistemas de informação geográfica. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 417-424, 2003.

TOMINAGA L. K. **Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos:** aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP. 2007. 240 p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L. de; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 849-857, set./out. 2006.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 61-68, jan./mar. 2000.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 5-27, jan./mar. 2002.

CAPÍTULO 2 - CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA EM ÁREA URBANA - APOIO À LEGISLAÇÃO DA CIDADE DE LAVRAS, MG

(O capítulo 2 será transcrito no formato do Periódico Engenharia Agrícola e encaminhado para submissão)

RESUMO

O estudo da permeabilidade do solo pode tornar-se um instrumento importante para se tomar as medidas corretas em relação às legislações das cidades. O objetivo da realização deste trabalho foi estudar a permeabilidade do solo na sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG. Foram distribuídos sete pontos de amostragem para cada classe de declividade, identificados nas áreas classificadas como superfícies permeáveis. Foram coletadas 42 amostras indeformadas, na camada de 0-20 cm. A condutividade hidráulica saturada foi determinada em laboratório, utilizando-se um permeâmetro de carga constante. Com os resultados das amostras foram gerados mapas a partir de modelo numérico de terreno, sendo analisados por expressões algébricas e tabulação cruzada. Por meio da estatística descritiva, verificou-se a distribuição das análises. A condutividade hidráulica média para as classes de declividade 0%-3%, 3%-6%, 6%-12%, 12%-20%, 20%-40% e >40% foram de 105 mm.h-1, 134,3 mm.h-1, 191,5 mm.h-1, 117,6 mm.h-1, 108 mm.h-1 e 175,5 mm.h-1, respectivamente. As regiões classificadas como moderada a rápida e moderada devem ser trabalhadas, a fim de preservar a infiltração da água no solo e as regiões classificadas como rápida devem ser preservadas. Os valores de condutividade hidráulica na sub-bacia hidrográfica evidenciam que a normatização para preservar as áreas permeáveis irá funcionar como instrumento para promover a infiltração da água no solo da cidade.

Palavras-chave: Condutividade hidráulica, uso da terra, urbanismo.

ABSTRACT

HYDRAULIC CONDUCTIVITY IN URBAN AREA - SUPPORT FOR THE LEGISLATION OF THE CITY OF LAVRAS-MG

The study of soil permeability may become an important tool for taking corrective measures towards the cities laws. This work was carried out with the objective of studying the soil permeability in the Centenário stream sub-basin in Lavras, MG. Seven sampling points for each class of slope were distributed and then identified in areas classified as permeable surfaces. 42 undisturbed samples, were taken from the 0-20cm-layer. The saturated hydraulic conductivity was determined in the laboratory using a constant workload parameter. Maps were generated from Numerical Model Terrain on the ground of the samples results, and then analyzed by algebraic expressions and cross-tabulation. Analysis distribution was verified through descriptive statistics. The average hydraulic conductivity found for the following declivity classes - 0%-3%, 3%-6%, 6%-12%, 12%-20%, 20%-40% and >40% - were 105 mm.h⁻¹, 134,3 mm.h⁻¹, 191,5 mm.h⁻¹, 117,6 mm.h⁻¹, 108 mm.h⁻¹ e 175,5 mm.h⁻¹ respectively. The classes Moderate to Fast and Moderate should be worked on in order to preserve water infiltration in the soil. The regions classified as Fast should be preserved. The values of hydraulic conductivity in the sub-basin show that the legislation concerning the preservation of the the permeable areas will play the role of an instrument to promote infiltration of water in the soil of the city.

Keywords: Hydraulic conductivity, land use, urbanism.

1 INTRODUÇÃO

A impermeabilidade do solo nas áreas urbanas deve ser considerada como um dos principais fatores da degradação ambiental. O crescimento indiscriminado dessas áreas é um dos principais agentes no incremento do escoamento superficial e na ocorrência de enchentes (Tucci, 2002; Centeno et al., 2003).

É amplamente reconhecido que os problemas urbanos associados ao meio ambiente, especialmente aqueles associados à drenagem urbana, são influenciados pela permeabilidade do solo.

Segundo Tucci (1997), o plano diretor de um município deve ter instrumentos para aumentar o crescimento das áreas permeáveis nas cidades, obrigando as futuras edificações a terem uma percentagem do terreno livre. Em alguns casos, na legislação, aplicam-se os custos dos investimentos para execução das áreas permeáveis aos proprietários dos loteamentos e lotes urbanos, obrigando-os a proporcionar a infiltração d'água nesses espaços não edificados.

O estudo da permeabilidade do solo torna-se um instrumento importante para se tomar as medidas corretas em relação às legislações que visam à sustentabilidade no meio urbano (Pilz & Strobl, 2007). Segundo Fontes & Barbassa (2003) e Ribeiro (2006), as legislações urbanísticas que regulam o crescimento e a ocupação da cidade devem ser utilizadas para atingir uma relação equilibrada entre o sistema natural e o ambiente construído. Algumas medidas implementadas por normatização e fiscalização podem ser adotadas para minimizar os danos na drenagem urbana (Ribeiro, 2006).

A utilização de sistemas de informação geográfica (SIGs) para análise da permeabilidade em áreas urbanas permite obter informações da utilização das áreas livres dos lotes (Fontes & Barbassa, 2003). Para Soares (2005), a

utilização de SIG possibilita a obtenção de dados de forma rápida e precisa, podendo servir para os estudos da infiltração de água no solo, constituindo uma ferramenta importante de gestão e planejamento.

Para Pons (2006), a sistematização existente nos SIGs, associada a banco de dados, permite disponibilizar às administrações públicas e aos órgãos ambientais uma gama de informações que podem ser utilizadas para as tomadas de decisões. Os novos sistemas sensores e suas resoluções abrem novas possibilidades para a obtenção e atualização de dados, especialmente na utilização em áreas urbanas (Schiewe & Tufte, 2007).

Atualmente, as vantagens no desenvolvimento da interação entre SIGs são cada vez mais expressivas (Ehlers, 2007). Para Kok et al. (2007), a sinergia entre SIGs permite que problemas complexos possam ser abordados e manuseados com maior clareza. Segundo Ehlers (2007), uma integração efetiva somente ocorre quando há intercessão de um georreferenciamento e sobreposição adequada dos dados.

A permeabilidade do solo é a propriedade que indica a maior ou a menor facilidade que o mesmo oferece à passagem da água através de seus vazios. Essa maior ou menor facilidade de passagem da água é numericamente expressa pelo coeficiente de permeabilidade (k), cujo conhecimento é muito importante para os problemas de movimento da água no solo (Alonso, 2007), sendo também conhecido como condutividade hidráulica (Prevedello, 1996). A condutividade hidráulica é, portanto, um parâmetro do solo e traduz a intensidade com que este solo conduz a água (Libardi, 2005).

A condutividade hidráulica varia em função, principalmente, da textura, da estrutura, de porosidade e do grau de saturação do solo (Mesquita & Moraes, 2004). Este último fator é de grande importância no tocante a ensaios de permeabilidade em laboratório, pois os valores de condutividade hidráulica de um solo que não está totalmente saturado podem ser muito diferentes do valor

para um solo saturado (Neves, 1987). Conforme Pinto (2000) e Reichardt (1987), quanto maior o grau de saturação do solo, maior o valor do coeficiente de permeabilidade, pois as bolhas de ar existentes num solo não saturado constituem obstáculos ao fluxo da água.

Segundo Pinto (2000), Darcy, em 1850, verificou, em seus experimentos, como diversos fatores geométricos influenciavam a vazão da água, expressando a equação que ficou conhecida como Lei de Darcy:

$$Q = k \cdot h \cdot A \quad (01)$$
$$L$$

em que

Q = vazão (m³/s);

A = área da amostra de solo (m²);

k = coeficiente de permeabilidade (m/s);

L = Altura da amostra (m);

h = Diferença entre a entrada e saída d'água (m).

A relação “h” (diferença entre a entrada e a saída d'água) por “L” (altura da amostra de solo) é chamada de gradiente hidráulico, expresso pela letra “i”. Assim, a Lei de Darcy assume o seguinte formato:

$$Q = k \cdot i \cdot A \quad (02)$$

A vazão dividida pela área indica o fluxo da água no solo. Este fluxo, “v”, é chamado de velocidade de fluxo. Em função desta velocidade, a Lei de Darcy fica sendo:

$$v = k \cdot i \quad (03)$$

Da última expressão, se conclui que o coeficiente de permeabilidade (K) indica o fluxo da água quando o gradiente é unitário.

Segundo Alonso (2007), a velocidade “v” corresponde à “velocidade de fluxo”, isto é, a velocidade referida ao comprimento “L” da amostra e não ao comprimento real percorrido pelas partículas da água dentro da mesma. Observa-se, também, que a velocidade de fluxo “v” é numericamente igual ao produto (k.i), ou seja, o coeficiente de permeabilidade “k” pode ser interpretado como a velocidade (aparente) de descarga para um gradiente hidráulico unitário, isto é, $k = v/i$ ou $k = v$ para $i = 1$.

A denominação “velocidade aparente” decorre não só do fato de que o comprimento “L”, da equação de Darcy, é menor que o percorrido pela partícula líquida, mas também porque a área de vazios por onde a água escoar é menor que a área total correspondente à seção transversal, por onde ocorre o fluxo (Alonso, 2007). Por isso, é importante diferenciar a velocidade de fluxo “v” da velocidade de percolação ($VP = Q/AV$).

Para determinar a condutividade hidráulica (K_o) existe uma grande variedade de métodos que são utilizados em diferentes condições, buscando maiores níveis de precisão. Nos métodos diretos, a K_o pode ser determinada em condições de laboratório e campo. Os métodos indiretos relacionam a condutividade hidráulica com propriedades do solo (distribuição do tamanho dos poros, textura, porosidade drenável, densidade do solo, etc.) (Neves, 1987; Marques et al., 2008). Quando se obtêm amostras para serem ensaiadas em laboratório, o método que mais frequentemente se aplica consiste na tomada de amostras em cilindros metálicos (Gavande, 1976).

Segundo Pinto (2000), o estudo da percolação da água nos solos é muito importante porque ela intervém num grande número de problemas práticos,

podendo-se agrupar em três tipos: cálculo das vazões, análise de recalques e estudos de estabilidade.

A condutividade hidráulica do solo é um dos atributos físicos mais importantes para indicar a qualidade do solo, sendo dependente da quantidade, da continuidade e do tamanho dos poros (Castro & Vieira, 1996 citados por Martins et al., 2002).

A avaliação da condutividade hidráulica dos solos é de fundamental importância na resolução de problemas práticos ligados a projetos e manejo de irrigação e drenagem, transporte de nutrientes, infiltração e escoamento da água de chuva e movimento de substâncias contaminantes, visto que a maior parte desses processos que envolve o movimento da água nos solos (Hillel, 1982). Além disso, os valores de condutividade hidráulica do solo podem servir como um indicativo de problemas, como a compactação (Camargo & Alleoni, 1997).

A determinação da condutividade hidráulica desempenha papel fundamental na relação do uso do solo e no desenvolvimento sustentável em sub-bacias hidrográficas urbanas. É importante determinar a percolação da água no solo nas áreas urbanas não ocupadas por superfícies impermeáveis, identificando os locais onde os solos oferecem maior ou menor facilidade à passagem da água. Os resultados encontrados no coeficiente de permeabilidade nos lotes podem servir para direcionar a legislação urbana e definir se cabe uma tarifação das áreas ocupadas.

Nesse sentido, objetivou-se, com esta pesquisa, estudar a permeabilidade do solo na sub-bacia do córrego Centenário em Lavras, MG. Os resultados encontrados buscam identificar e caracterizar o potencial de permeabilidade do solo nas áreas classificadas como superfícies permeáveis.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A área estudada compreende a sub-bacia do córrego Centenário, que se localiza na área urbana de Lavras, MG, entre as coordenadas UTM 499.472; 501.504 m E e 7.649.473; 7.852.793 m N, fuso 23 K. O município localiza-se no sul do estado de Minas Gerais e é considerada cidade polo na região. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2008), a população é estimada em 87.421 habitantes, numa área da unidade territorial de 565 km².

A primeira etapa do trabalho consistiu na construção de uma base de dados da área de estudo, utilizando-se o programa SPRING (Câmara et al., 1996). Esse aplicativo implementou as informações correspondentes ao levantamento cadastral da cidade de Lavras efetuado no ano de 2006, de propriedade da Prefeitura Municipal de Lavras, contendo ortofotografias digitais coloridas, com resolução espacial de 10 x 10 cm, levantamento cadastral da cidade e informações do banco de dados elaborado por Furtini (2005).

A identificação e o mapeamento do uso da terra e a sua quantificação por meio da classificação da imagem da sub-bacia foram efetuados por digitalização manual via tela, utilizando chaves de interpretação e identificação por padrões de assentamento estudados por Furtini et al. (2007). Buscou-se mapear todas as áreas não edificadas e que visivelmente pudessem ser identificadas como permeáveis.

Os produtos em modelo numérico de terreno (MNT) foram confeccionados segundo Furtini (2005). O mapa de declividade elaborado foi separado em seis classes: 0%-3%, 3%-6%, 6%-12%, 12%-20%, 20%-40% e >40%. Com a grade de declive, executou-se o fatiamento, definindo-se as fatias como passo variável e associando-as às classes temáticas: várzea, plano a suave ondulado, suave ondulado a ondulado, ondulado a forte ondulado, forte ondulado a montanhoso e montanhoso (De Biase, 1993).

A definição dos pontos de coleta das amostras para determinar a condutividade hidráulica foi baseada nos mapas temáticos de declividade e superfícies permeáveis. Buscou-se distribuir as amostras igualmente nas declividades, para abranger a maior distribuição nas classes de solo (Andrade et al., 1998). Foram distribuídos sete pontos de amostragem para cada classe de declividade, identificados nas áreas classificadas como permeáveis (Figura 8). Esse procedimento foi adotado por ser mais provável se obter a mesma classe de solo em declividades semelhantes (Andrade et al., 1998).

Buscou-se abranger a maior área da sub-bacia hidrográfica, identificando as amostras aleatoriamente nos mapas de declividade (Tabela 7).

TABELA 7 Faixas de declividade com os respectivos pontos de amostragem na sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

Declividade	Amostras	Símbolo
0%-3%	5; 11; 13; 16; 20; 37; 41	
3%-6%	8; 9; 12; 31 ;33 ;35 ;38	
6%-12%	32; 39; 21; 36; 2; 14;25	
12%-20%	22; 42; 4; 17; 15; 26; 27	
20%-40%	24; 40; 34; 1; 18; 29; 7	
>40%	10; 28; 3; 30; 19; 23; 43	

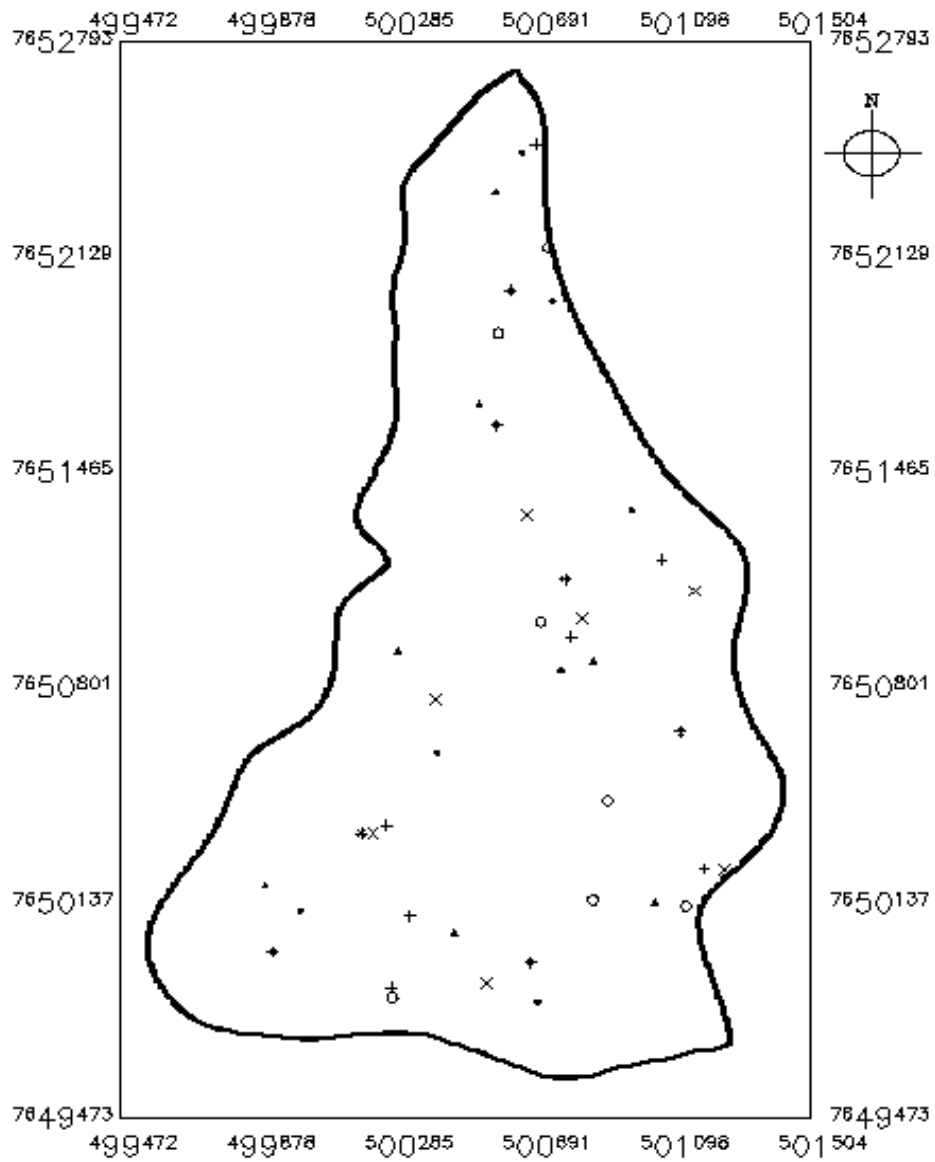


FIGURA 8 Pontos de coleta de solo na sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

Coletou-se um total de 42 amostras indeformadas, na camada de 0-20 cm, com um amostrador de solo tipo Uhland. As amostras foram transportadas para o Laboratório de Ciência dos Solos da UFLA, onde ficaram armazenadas. Durante o preparo para o ensaio, houve a preocupação em numerá-las, verificando-se a posição de amostragem feita em campo e a realização da saturação por um período de 24 horas.

A determinação da condutividade hidráulica saturada (K_o) em laboratório foi realizada utilizando-se o permeâmetro de carga constante, conforme descrição de Libardi (2005).

A condutividade hidráulica foi classificada segundo a Soil Survey Staff, adaptada por Lima et al. (1990), apresentada na Tabela 8.

TABELA 8 Classes de “permeabilidade”, de acordo com os valores de K_o .

Classes	K_o (mm h⁻¹)
Rápida	> 254
Moderada a rápida	127 a 254
Moderada	63,5 a 127
Lenta a moderada	20 a 63,5
Lenta	5 a 20
Muito lenta	<5

Após a determinação de K_o determinou-se a densidade do solo (D_s) segundo Ferreira & Dias Junior (1999). Na Tabela 9 apresenta-se a classificação das amostras quanto à densidade do solo adaptada de Reichardt (1987).

TABELA 9 Classes de densidade do solo.

Cor	Classes D_s (Mg/m³)
Amarela	> 1,3
Laranja	1,3 a 1,0

Foram gerados modelos numéricos de terreno (MNT) utilizando-se grades retangulares para visualização da superfície das amostras de

condutividade hidráulica e densidade do solo. Assim, os dados foram especificados com os parâmetros de grade retangular, dados de entrada em amostras, resolução de 5 x 5 m, tamanho 32 bits, potência 2 e raio 1000. Os interpoladores de grade retangular utilizados no SPRING para a geração de modelos numéricos de terreno foram: vizinho mais próximo; média ponderada; média ponderada por quadrante. Com as grades, executaram-se os fatiamentos em uma nova categoria, gerando imagens temáticas, definindo-se as fatias como passo variável e associando-as às classes temáticas apresentadas nas Tabelas 2 e 3. Os resultados dos MNT foram transformados no formato matricial para serem analisados sob a forma de expressões "algébricas" definidas pelo usuário por meio da Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL) e tabulação cruzada.

Utilizou-se o interpolador vizinho mais próximo pelo fato de eles expressarem a variabilidade espacial do fenômeno, revelando a área de influência de cada ponto de observação; já o interpolador média ponderada foi utilizado por produzir resultados que se assemelham ao resultado de interpoladores de krigagem provenientes de um modelo isotrópico (Camargo, 1997).

Por meio da estatística descritiva, determinaram-se a média aritmética, a mediana amostral, a variância, o desvio-padrão amostral e o coeficiente de variação, assimetria e curtose, procedimentos, segundo Andrade et al. (2005), importantes para o conhecimento preliminar da distribuição da análise do solo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na coleta das amostras indeformadas de solo, as regiões visitadas in loco apresentaram a superfície do solo com muito material de entulho, acarretando a exclusão de muitas amostras e solos com características da estrutura remanescente alterada por processos de terraplenagem. Os maiores problemas encontrados no momento da coleta foram construções recentes nos locais identificados como permeáveis e a falta de autorização dos proprietários dos lotes urbanos.

Na Tabela 10 são apresentadas as principais características visuais do solo das áreas analisadas na sub-bacia.

TABELA 10 Características visuais das localidades amostradas na sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

Amostra	Observações
1, 2, 13, 14, 20	Boa cobertura vegetal, pedregulhos médios
3, 12, 9, 10, 40, 43	Pouca vegetação e raros pedregulhos
4, 27, 16, 18, 19, 21, 28, 32, 35, 36, 37	Pouca vegetação, presença de pedregulhos
5, 30	Voçoroca, coloração rosa e serosidade
7, 8, 15, 25, 26, 31, 33, 34, 38	Terreno com boa cobertura vegetal
11, 17, 22, 24, 42	Solo exposto e pedregulhos
23, 29, 39, 41	Solo exposto

Na Tabela 11, observam-se os parâmetros estatísticos dos dados de condutividade hidráulica e densidade do solo dos 42 pontos amostrados.

TABELA 11 Resultado da análise exploratória de condutividade hidráulica e densidade do solo, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

Parâmetros	Condutividade hidráulica (mm.h⁻¹)	Densidade do solo (Mg/m³)
Média	138,65	1,36
Variância	18219,36	0,02
Desvio padrão	134,90	0,13

Continua...

TABELA 11 Continuação.

Parâmetros	Condutividade hidráulica (mm.h ⁻¹)	Densidade do solo (Mg/m ³)
Coefficiente de variação	0,97	0,10
Valor máximo	565,17	1,74
Mediana	80,02	1,35
Valor mínimo	1,33	1,09
Coefficiente de assimetria	1,45	0,30
Coefficiente de curtose	4,75	3,25

Além das estatísticas referidas, utilizaram-se, para uma melhor caracterização das amostras de K_o e D_s , os recursos gráficos de histograma. Na Figura 9 é apresentado o histograma para a condutividade hidráulica e a densidade do solo.

Os resultados da análise exploratória e a análise do histograma mostram que a tendência mediana nas amostras de condutividade hidráulica é de 80,02 (mm.h⁻¹), demonstrando que a concentração das amostras está localizada à esquerda e cauda alongada para a direita. Para Cressie (1991), a normalidade dos dados não é uma exigência para trabalhar com geoestatística, mas pode ser comprometida com a presença de caldas muito alongadas na sua distribuição. Segundo Queiroz (1995), a elevada variabilidade dos dados de condutividade hidráulica do solo saturado pode ser explicada pela heterogeneidade textural e estrutural do solo, como também pela presença de raízes de plantas, atividade microbiana, entre outros fatores.

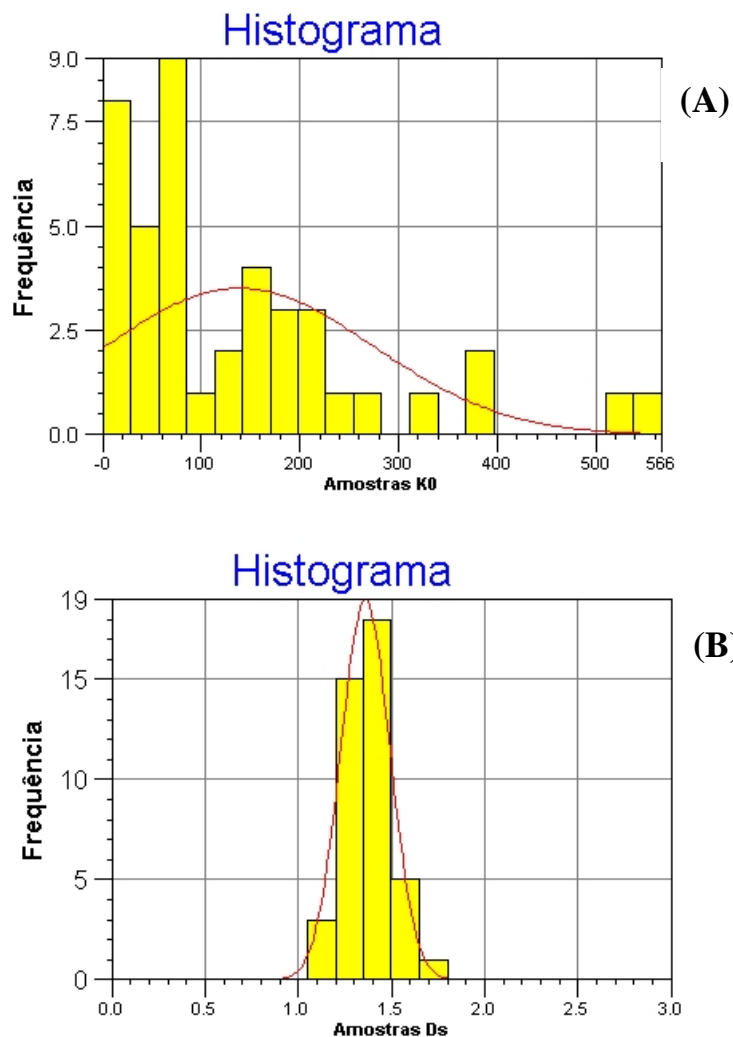


FIGURA 9 Histograma de condutividade hidráulica (A) e densidade do solo (B), sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

Para densidade do solo, a mediana é de 1,35, demonstrando certa assimetria na distribuição dos valores. A mediana apresenta-se menos tratável que a média, porém, apresenta como vantagem a não interferência a valores

discrepantes, descrevendo o equilíbrio de um centro de distribuição (Webster & Oliver, 1990). Observa-se que os valores das medidas de tendência central (média e mediana), medidas que caracterizam o centro da mesma distribuição de frequências, são semelhantes apenas para densidade de solo, o que prova que a distribuição é simétrica para esse atributo (Libardi et al., 1996).

Valores próximos de zero para assimetria e próximos de três para a curtose caracterizam a distribuição normal de frequências (Ferreira, D. F., 2000). Segundo Farias (1999), a assimetria apresenta uma distribuição normal quando as análises estudadas variam de 0 e 3. Os valores do coeficiente de assimetria e curtose para condutividade hidráulica foram de 1,45 e 4,75, respectivamente e, para densidade do solo, 0,3 e 3,25, respectivamente. Os resultados desta análise indicam que dos atributos estudados, a densidade do solo apresenta assimetria e curtose compatíveis com a distribuição normal, o que pode ser confirmado pelos valores semelhantes de média e de mediana (Sampaio, 2008). Para condutividade hidráulica, os valores de média foram de 138,65 e mediana de 80,02. Vários trabalhos confirmam distribuição normal dos dados de densidade do solo (Silva, 1988; Guimarães, 2000; Sampaio, 2008).

O coeficiente de variação (CV) é adimensional e permite a comparação de valores entre diferentes atributos do solo. Valores elevados de CV podem ser considerados como os primeiros indicadores da existência de heterogeneidade nos dados (Sampaio, 2008). Para Carvalho (1991), o CV dá ideia da precisão com que foi realizado o experimento e, segundo Grossi Sad (1986), expressa o grau de variabilidade do atributo.

Segundo Souza (1999), o desvio padrão e o CV dão uma ideia da magnitude da variabilidade dos solos, porém, não informa a estrutura da dependência espacial, que só é possível por meio de técnicas geoestatísticas.

Os resultados dos ensaios de condutividade hidráulica com permeâmetro de carga constante são apresentados nas Tabelas 12 e 13 e os ensaios de densidade do solo são apresentados nas Tabelas 14 e 15.

TABELA 12 Resultado da condutividade hidráulica nas declividades de 0 a 12%, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

Plano		Plano-suave ondulado		Suave ondulado-ondulado	
Nº amostras	Ksat mm.h⁻¹	Nº amostras	Ksat mm.h⁻¹	Nº amostras	Ksat mm.h⁻¹
5	82,76	8	153,44	32	384,29
11	67,06	9	77,28	39	64,00
13	148,82	12	76,97	21	206,89
16	211,36	31	57,48	36	518,45
20	23,94	33	245,12	2	7,69
37	196,57	35	278,29	14	155,15
41	4,02	38	51,84	25	4,02
Média	104,93		134,34		191,50

TABELA 13 Resultado da condutividade hidráulica nas declividades acima de 12%, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

Ondulado-forte ondulado		Forte ondulado-Montanhoso		Montanhoso	
Nº amostras	Ksat mm.h⁻¹	Nº amostras	Ksat mm.h⁻¹	Nº amostras	Ksat mm.h⁻¹
22	8,24	24	109,94	10	1,98
42	38,98	40	136,42	28	1,33
4	134,48	34	161,67	3	39,31
17	338,89	1	75,19	30	22,19
15	57,06	18	51,39	19	215,31
26	74,48	29	33,90	23	383,21
27	171,57	7	187,27	43	565,17
Média	117,67		107,97		175,50

TABELA 14 Resultado da densidade do solo nas declividades de 0 a 12%, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

Plano		Plano-suave ondulado		Suave ondulado-ondulado	
Nº amostras	Ds Mg/m³	Nº amostras	Ds Mg/m³	Nº amostras	Ds Mg/m³
5	1,25	8	1,43	32	1,34
11	1,39	9	1,48	39	1,41
13	1,10	12	1,28	21	1,45
16	1,49	31	1,24	36	1,20
20	1,35	33	1,09	2	1,32
37	1,14	35	1,35	14	1,23
41	1,51	38	1,35	25	1,42
Média	1,32		1,32		1,34

TABELA 15 Resultado da densidade do solo nas declividades de 12 a >40%, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

Ondulado-forte ondulado		Forte ondulado-Montanhoso		Montanhoso	
Nº amostras	Ds Mg/m³	Nº amostras	Ds Mg/m³	Nº amostras	Ds Mg/m³
22	1,43	24	1,51	10	1,41
42	1,55	40	1,49	28	1,60
4	1,28	34	1,28	3	1,26
17	1,18	1	1,36	30	1,74
15	1,21	18	1,32	19	1,28
26	1,21	29	1,51	23	1,38
27	1,39	7	1,41	43	1,28
Média	1,32		1,41		1,42

Para as classes de declividade plano, ondulado-forte ondulado e forte ondulado-montanhoso, os valores médios de condutividade hidráulica foram de 105, 117,7 e 108 mm.h-1, respectivamente. Segundo a definição de Lima et al. (1990), a permeabilidade do solo é considerada como moderada, pois os valores de condutividade hidráulica variam de 63,5 a 127 mm.h-1. A densidade do solo para estas regiões tem valor médio de 1,32 Mg/m³.

As regiões nas quais a permeabilidade do solo é classificada como moderada a rápida, a condutividade hidráulica média foi de 134,3 mm.h-1 para a classe de declividade plano-suave ondulado, de 191,5 mm.h-1 para a classe suave ondulado-ondulado e de 175,5 mm.h-1 para a classe montanhoso. A densidade do solo média para cada classe de declividade variou de 1,30 a 1,42 Mg/m³.

Os valores de condutividade hidráulica maiores que 254 mm.h-1 estão localizados em quase todas as classes de declividade, variando de 278,29 a 565,17 mm.h-1 e possuem densidade do solo variando de 1,18 a 1,38 Mg/m³. Para estas regiões, K_o não apresentou uma relação coerente com os valores de densidade do solo. Segundo Marques et al. (2008), os dois atributos K_o e D_s deveriam ser inversamente proporcionais. As ações antrópicas na região podem ser o principal fator para a alta variabilidade nos resultados de K_o , devido à heterogeneidade dos solos encontrados nas áreas urbanas.

A classe de permeabilidade muito lenta, regiões nas quais a condutividade hidráulica foi inferior a 5 mm.h-1, está localizada nas classes de declividade plano, suave ondulado-ondulado e montanhoso. De acordo com os resultados de K_o , estas regiões apresentaram pouca infiltração da água no solo e valores de densidade do solo superiores a 1,40 Mg/m³. Para a classe montanhoso, locais onde a declividade é excessiva, a insuficiência da permeabilidade do solo e a alta densidade do solo levam ao escoamento superficial das águas, podendo ocasionar processos erosivos (Pinto, 2000).

Utilizando a correlação entre classes de declividade e classes de solo apresentada por Andrade et al. (1998), compararam-se os valores médios de condutividade hidráulica para as classes de solo em relação à declividade. Para as regiões onde a declividade é de 0%-3%, 12%-20% e 20%-40%, locais onde a permeabilidade do solo foi classificada como moderada, foram encontrados os solos dos tipos Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos, os latossolos nos

topos de morro, os solos B texturais e os solos B texturais e Cambissolos. Utilizando-se esta correlação, os valores de condutividade hidráulica para esses solos são de 105 mm.h-1, 105 mm.h-1, 117,7 mm.h-1 e 108 mm.h-1 respectivamente.

Os solos B texturais apresentam um acréscimo do teor de argila entre o horizonte A e o horizonte B. Essa mudança repentina proporciona uma descontinuidade no sistema poroso, facilitando a erosão, principalmente nas regiões onde os relevos são íngremes (Silva et al., 1999). As regiões onde foram detectados valores de K_0 muito baixos e densidade do solo muito alta podem proporcionar um incremento no escoamento superficial, perda laminar de solo, incremento na vazão dos córregos e assoreamento.

Nos locais onde a permeabilidade do solo é classificada como moderada a rápida, os Latossolos estão correlacionados às declividades 3%-6% e 6%-12%, com condutividade hidráulica de 134,3 mm.h-1 e 191,5 mm.h-1 respectivamente. Para a declividade >40%, têm-se os Cambissolos e Neossolos Litólicos, com valores de condutividade hidráulica de 175,5 mm.h-1.

As imagens temáticas geradas a partir do fatiamento das classes de permeabilidades segundo Soil Survey Staff (1951 citado por Lima et al., 1990), utilizando os interpoladores vizinho mais próximo, média ponderada, média ponderada por quadrante, são apresentadas nas Figuras 10, 11 e 12, respectivamente.

As imagens temáticas do fatiamento das classes de densidade do solo adaptadas de Reichardt (1987), utilizando os interpoladores vizinho mais próximo, média ponderada, média ponderada por quadrante, são apresentadas nas Figuras 13, 14 e 15, respectivamente.

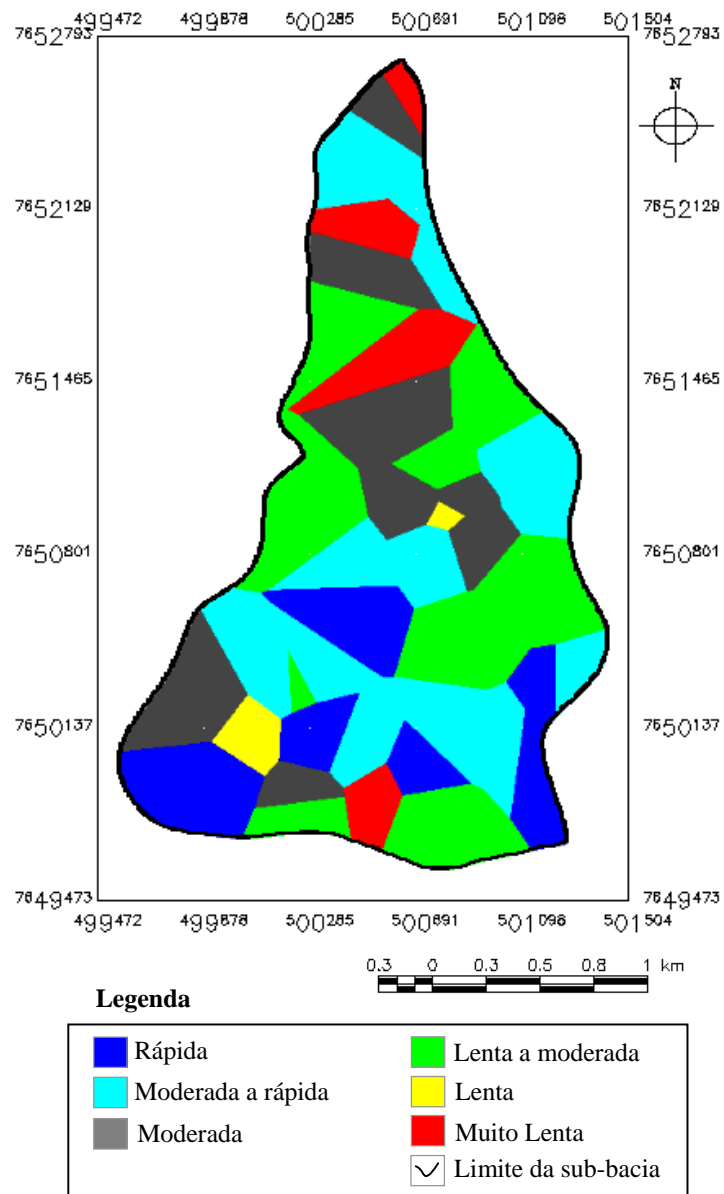


FIGURA 10 Fatiamento das classes de permeabilidade, utilizando o interpolador vizinho mais próximo, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

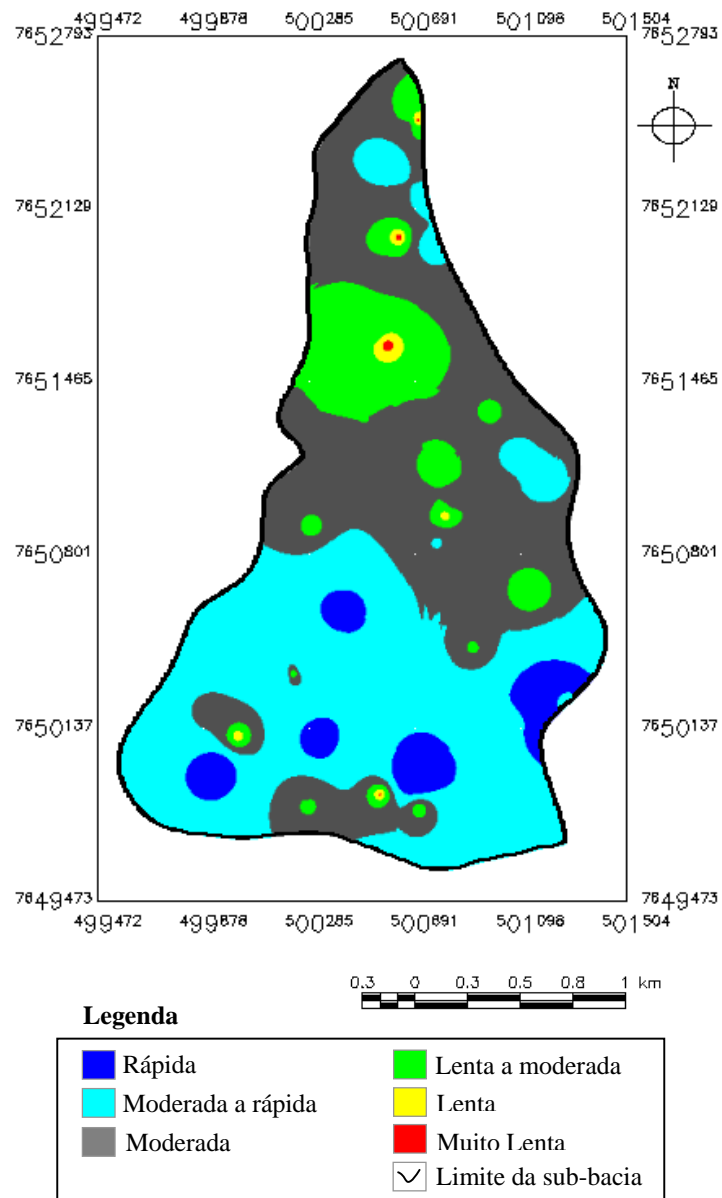


FIGURA 11 Fatiamento das classes de permeabilidade utilizando o interpolador média ponderada, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

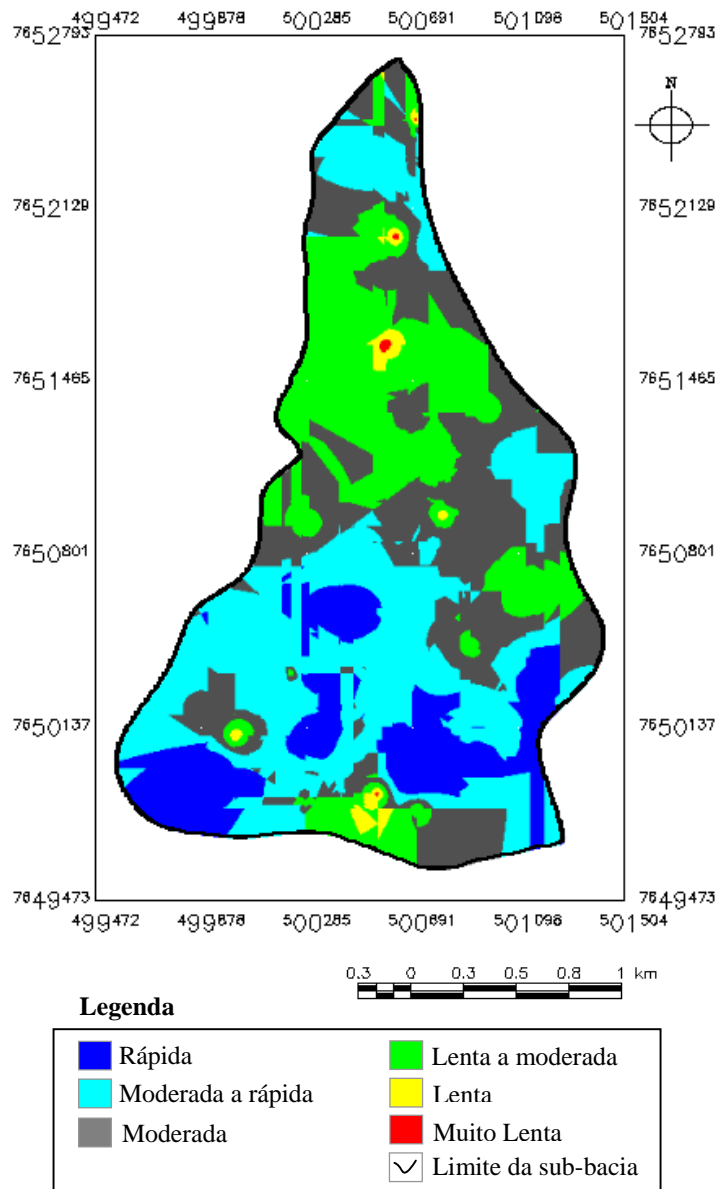


FIGURA 12 Fatiamento das classes de permeabilidade utilizando o interpolador média ponderada por quadrante, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

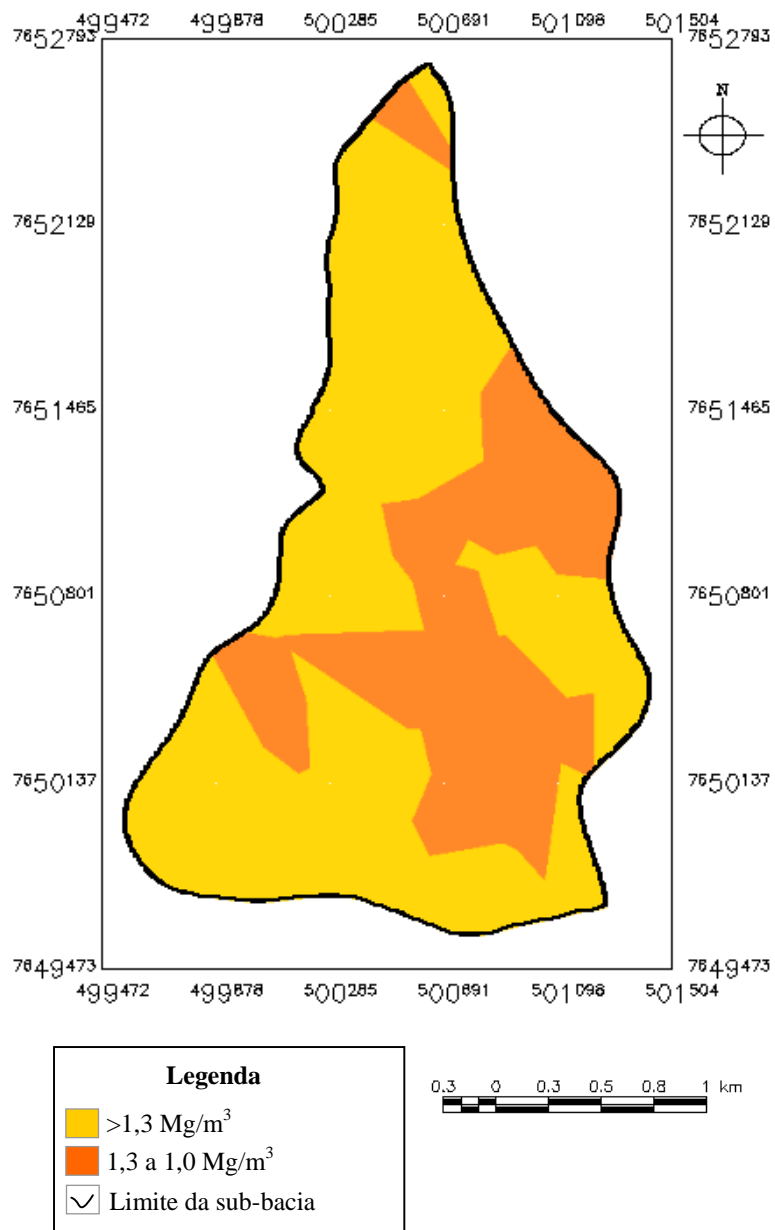


FIGURA 13 Fatiamento das classes de Ds utilizando o interpolador vizinho mais próximo, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

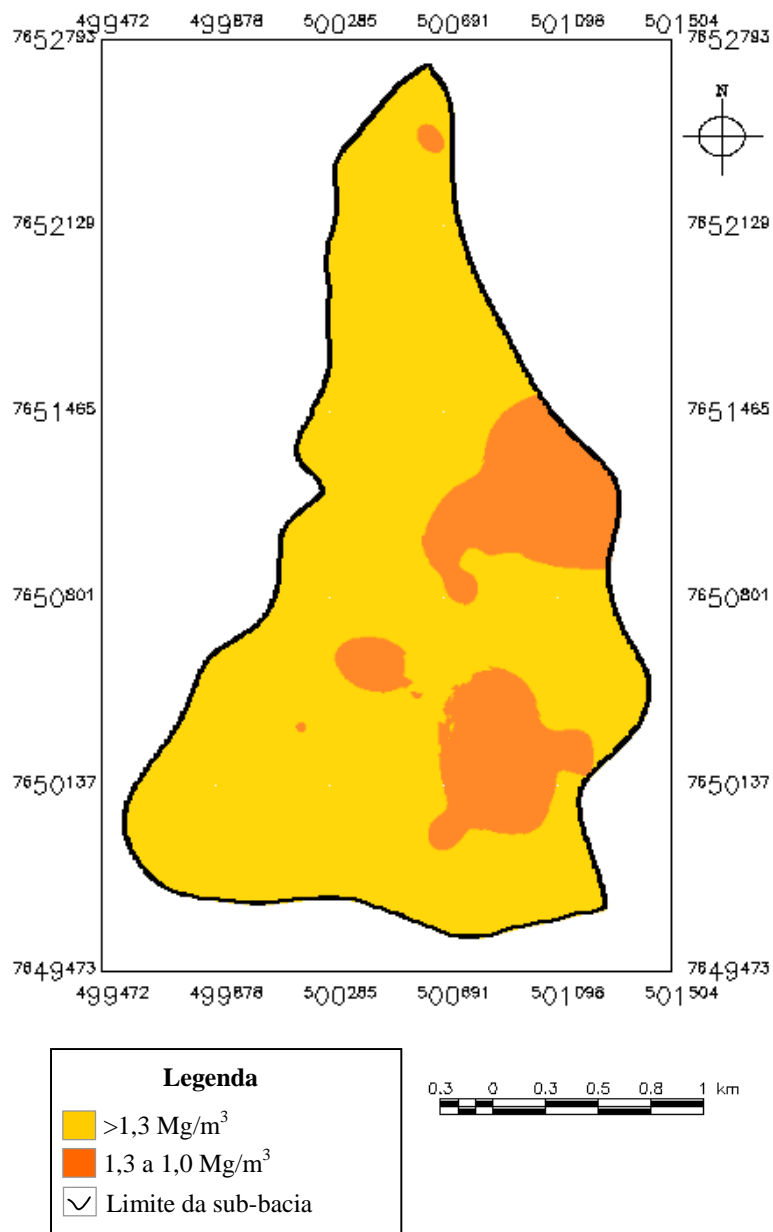


FIGURA 14 Fatiamento das classes de Ds utilizando o interpolador média ponderada, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

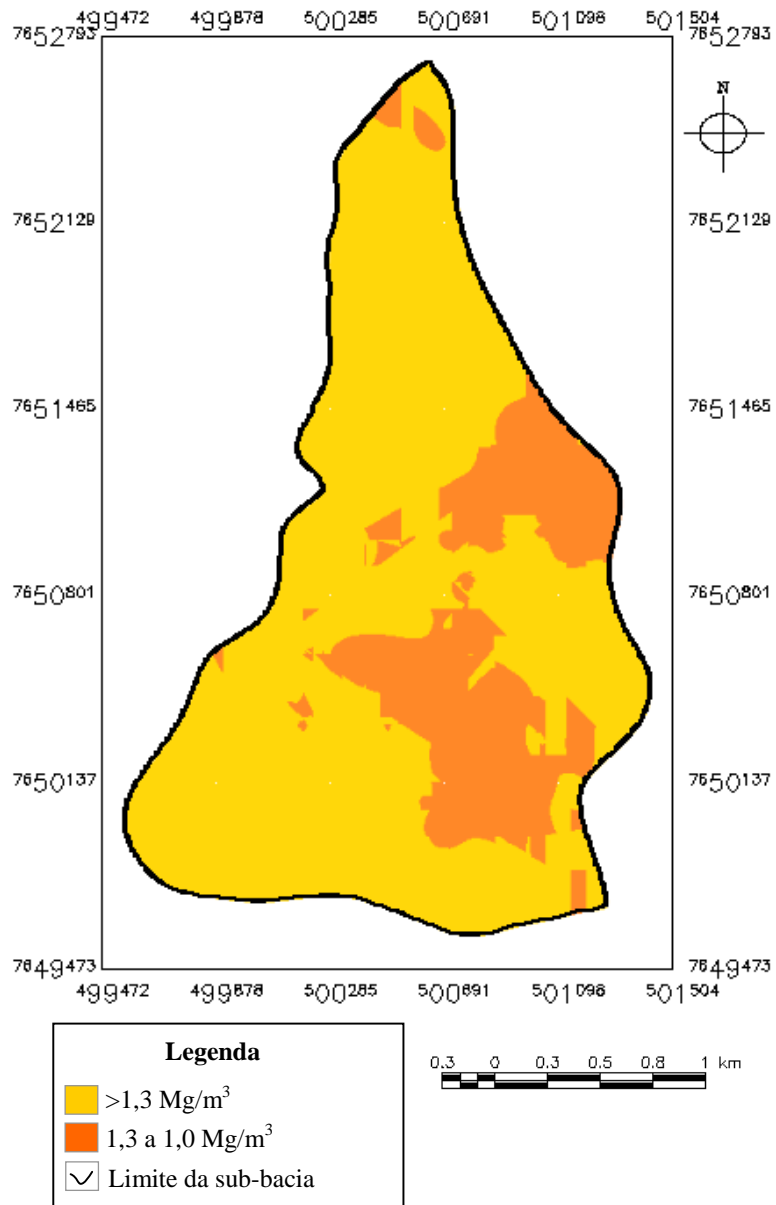


FIGURA 15 Fatiamento das classes de Ds utilizando o interpolador média ponderada por quadrante, sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

Muitos métodos de interpolação incorporados em sistemas de informação geográfica são baseados em funções matemáticas. Segundo Burrough (1986), esses métodos são facilmente implementados e razoavelmente rápidos, mas possuem limitações na representação da variabilidade espacial porque desconsideram a anisotropia e a continuidade do fenômeno.

A interpolação por vizinho mais próximo é definida pela escolha de apenas uma amostra vizinha para cada ponto da grade. Sua utilização é recomendada quando se deseja manter os valores de cotas das amostras na grade, sem gerar valores intermediários. Esses interpoladores tendem a produzir superfícies com variações abruptas (Camargo et al., 2004).

Para Camargo (1997), a continuidade espacial do fenômeno estudado para o interpolador vizinho mais próximo é menos expressiva que os demais utilizados no SPRING, embora revele a área de influência de cada ponto de observação. Segundo o mesmo autor, as informações apresentadas pelo interpolador são de grande valor para uma análise preliminar para a detecção de valores amostrais suspeitos.

Na interpolação por média ponderada, o valor de cota de cada elemento da grade é definido pela média ponderada dos valores das amostras vizinhas; os valores máximos tendem a ser muito acentuados (Camargo et al., 2004). O ponto mais crítico neste interpolador ocorre quando a superestimação e a subestimação dos valores, diferindo dos resultados encontrados por interpoladores como o de Krigeagem, em que as mudanças de valores são graduais (Camargo, 1997).

Para o modelo da média ponderada por quadrante, os resultados mostraram uma descontinuidade espacial na representação das amostras, principalmente para as classes de condutividade hidráulica, em que os valores amostrais possuem variabilidade alta das amostras.

Segundo Fuks (1998), alguns procedimentos determinísticos se assemelham à Krigeagem. Assim, as interpolações por média simples, móvel e

ponderada têm a mesma forma que o estimador de Krigeagem Linear, mas restringem-se por não representar a variabilidade espacial.

Os métodos tradicionais de interpolação incorporados em SIGs têm limitações na representação da variabilidade espacial, desconsiderando a anisotropia e a continuidade do fenômeno que é observado, além de deixar sem respostas questões importantes, como, por exemplo, quais são os erros associados aos valores estimados (Burrough, 1986).

A tabulação dos resultados busca identificar nas áreas classificadas com superfícies permeáveis, a permeabilidade do solo, segundo a definição de Lima et al. (1990) e a densidade do solo, segundo adaptação de Reichardt (1987).

O resultado da tabulação cruzada entre classes de permeabilidade e superfícies permeáveis pode ser observado na Tabela 16.

TABELA 16 Medidas de classe de permeabilidade.

Classes	Ko (ha)	Tabulação (ha)
Rápida	17,60	9,37
Moderada a rápida	132,73	42,92
Moderada	121,37	49,1
Lenta a moderada	34,32	14,54
Lenta	0,18	0,14
Muito lenta	1,64	0,93

As classes de permeabilidade moderada e moderada a rápida ocupam 254 ha da sub-bacia hidrográfica, do total de 307 ha, representando 83% da região mapeada. As regiões classificadas com superfícies permeáveis possuem 42,92 ha na classe moderada a rápida e 49,1 ha na classe moderada. Essas regiões mapeadas possuem boa infiltração da água no solo, podendo ser utilizadas como ferramenta na legislação urbana. O plano diretor do município pode ser utilizado como instrumento para promover a permeabilidade do solo. Pode-se garantir a infiltração da água no solo aplicando-se alternativas para a retenção das águas pluviais e ou a tarificação das regiões mais impactadas,

direcionando os recursos para a adoção de medidas de controle, prevenção, fiscalização e indenização de áreas afetadas. Em alguns casos, aplica-se nas áreas onde não foi prevista permeabilidade, em regiões que não apresentam infiltração adequada, uma legislação que garanta áreas permeáveis. A responsabilidade pelos custos de investimento nessas áreas será dos proprietários dos loteamentos e lotes urbanos (Tucci, 1997).

Pode-se verificar que a classe moderada está localizada, na sua maioria, na porção leste da sub-bacia, região onde se encontra uma voçoroca, fundo de vale e bairros limítrofes à voçoroca, estendendo-se para a jusante da sub-bacia. Para a classe moderada a rápida, as classes estão localizadas, principalmente, a montante da sub-bacia, na porção leste, nos bairros próximos à nascente do córrego Centenário, e a oeste, nas linhas de drenagem do córrego Santa Casa, mostrando-se com característica fragmentada e densidade do solo com valores acima de 1,3 Mg/m³.

Para a classificação em lenta a moderada, região onde a infiltração é mais prejudica pelos valores de condutividade hidráulica, as classes encontram-se localizadas no fundo de vale, onde o córrego Santa Casa encontra o córrego Centenário e na linha de drenagem que está localizada as regiões mais ocupadas da sub-bacia.

Na classe rápida foram mapeados 9,37 ha, correspondendo a locais com grande potencial a infiltrar água no solo. Essas classes localizam-se a montante da sub-bacia, em grandes áreas. Essas regiões podem ser preservadas e trabalhadas para produzir a infiltração da água no solo, evitando o escoamento superficial e contribuindo para um planejamento sustentável (Fontes & Barbassa, 2003).

Os resultados da tabulação cruzada entre classes de densidade do solo e superfícies permeáveis podem ser observados na Tabela 17.

TABELA 17 Medidas de classe de densidade do solo.

Classes Ds (Mg/m³)	Área (ha)	Tabulação (ha)
> 1,3	250,12	85,55
1,3 a 1,0	57,75	31,46

As medidas de classe de densidade do solo obtidas demonstram que 250 ha possuem a classe >1,3 Mg/m³, 81% da sub-bacia e 58 ha da classe que varia de 1,3 a 1,0 Mg/m³, 19% da sub-bacia. A classe de 1,3 a 1,0 Mg/m³ predomina principalmente nos bairros próximos à nascente do córrego Centenário e em parte da voçoroca e bairros limítrofes, estendendo-se para o fundo de vale, local onde os dois córregos se encontram. A classe >1,3 Mg/m³ localizam-se por toda a sub-bacia, principalmente a montante e a jusante. Sua classificação estende-se com característica fragmentada na porção oeste da sub-bacia, onde se encontra o centro da cidade.

Nas Figuras 16 e 17, são apresentados mapas temáticos das regiões classificadas como superfícies permeáveis e o fatiamento da condutividade hidráulica e densidade do solo a partir do interpolador média ponderada.

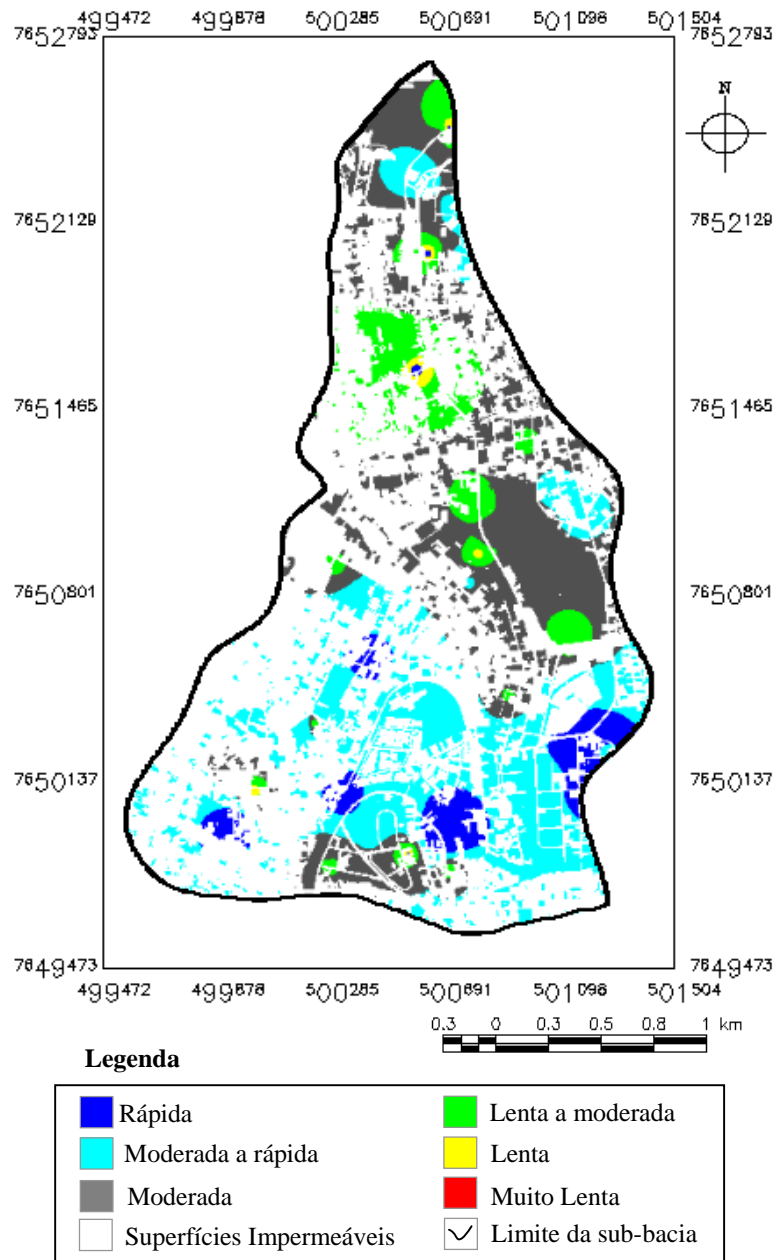


FIGURA 16 Classificação da condutividade hidráulica nas regiões permeáveis da sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

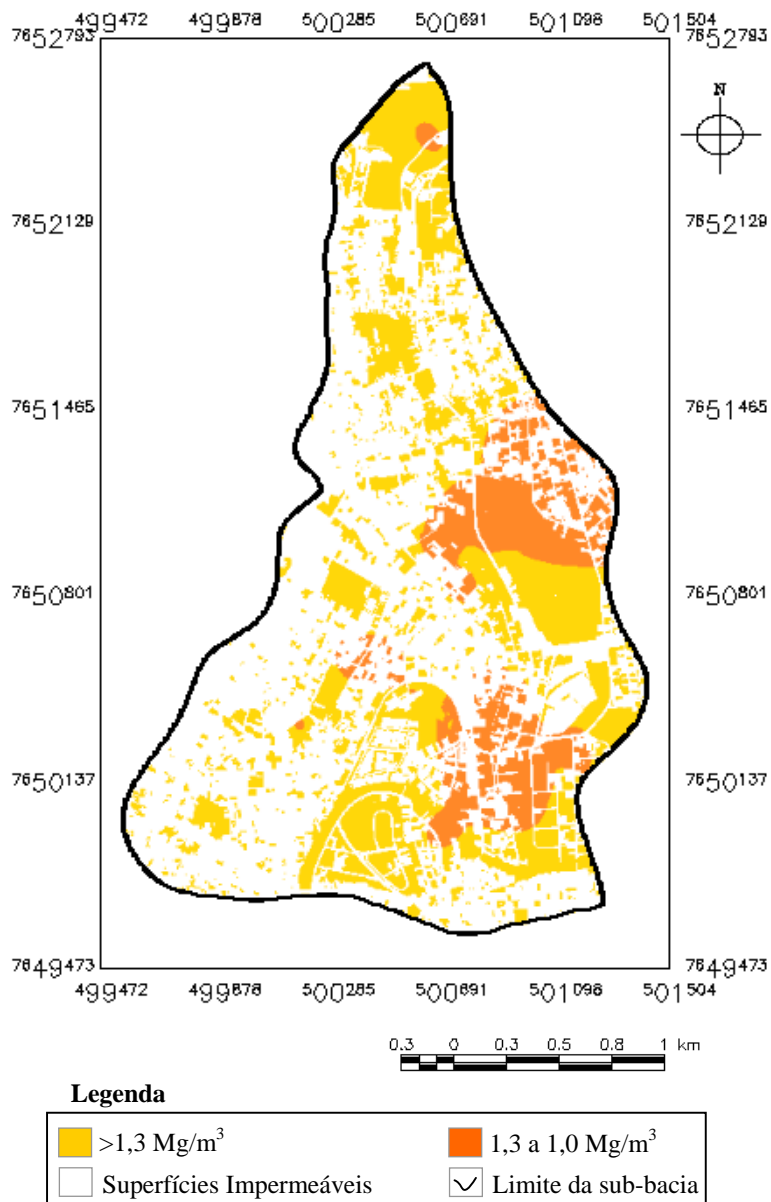


FIGURA 17 Classificação da densidade do solo nas regiões permeáveis da sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

4 CONCLUSÕES

A condutividade hidráulica média para as declividades 0%-3%, 3%-6%, 6%-12%, 12%-20%, 20%-40% e >40% foram de 105 mm.h-1, 134,3 mm.h-1, 191,5 mm.h-1, 117,6 mm.h-1, 108 mm.h-1 e 175,5 mm.h-1 respectivamente. A densidade do solo para as mesmas declividades foi de 1,32 Mg/m³, 1,32 Mg/m³, 1,33 Mg/m³, 1,32 Mg/m³, 1,41 Mg/m³ e 1,42 Mg/m³ respectivamente.

As classes de permeabilidade rápida, moderada a rápida, moderada, lenta a moderada, lenta e muito lenta foram mapeadas ocupando 9,37 ha, 42,92 ha, 49,1 ha, 14,54 ha, 0,14 ha e 0,93 ha, respectivamente. Para a área da sub-bacia hidrográfica de 307 ha, essas regiões ocupam 117 ha, ou 38,1% do total. As classes moderada a rápida e moderada estão localizadas nas áreas mais desocupadas da sub-bacia. Essas regiões, onde a infiltração da água no solo é mais favorecida pela condutividade hidráulica, devem ser trabalhadas, a fim de preservar a infiltração da água no solo, minimizando os impactos da impermeabilização na sub-bacia. As regiões classificadas como permeabilidade rápida não devem ser ocupadas por edificações, servindo como áreas de preservação e lazer na região.

Os valores de condutividade hidráulica na sub-bacia hidrográfica indicam que as áreas não edificadas apresentam grande facilidade para a água passar através de seus vazios, evidenciando que a normatização no município para preservar as áreas permeáveis poderá funcionar como instrumento para promover a infiltração da água no solo.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, U. R. **Rebaixamento temporário de aquíferos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 152 p.

ANDRADE, A. R. S. de; GUERRINI, I. A.; GARCIA, C. J. B.; KATEZ, I.; GUERRA, H. O. C. Variabilidade espacial da densidade do solo sob manejo da irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 322-329, mar./abr. 2005.

ANDRADE, H.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C.; RESENDE, R. J. T. P.; ESTEVES, D. R.; RASIL, J. K.; ROSA, E. R. Diagnóstico ambiental do município de Lavras com base em dados georreferenciados do meio físico: IV – principais grupamentos de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas, MG. **Anais...** Poços de Caldas: SBEA, 1998. p. 442-443.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon, 1986. 194 p.

CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J.; MITSUO, F. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, São José dos Campos, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

CAMARGO, E. C. G. **Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos geostatísticos (KRIGEAGEM) no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING)**. 1997. 146 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G. Análise espacial de superfícies. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. **Análise espacial de dados geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004. cap. 3.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ-USP, 1997. 132 p.

CARVALHO, T. M. de. **Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas de em um latossolo vermelho-amarelo através da geoestatística.** 1991. 84 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

CENTENO, J. A. S.; ANTUNES, A. F. B.; TREVISAN, S.; CORREA, F. Mapeamento de áreas permeáveis usando uma metodologia orientada a regiões e imagens de alta resolução. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 55, p. 48-56, jul. 2003.

CRESSIE, N. **Statistics for spatial data.** New York: J. Wiley, 1991. 900 p.

DE BIASE, M. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista de Geografia**, São Paulo, v. 6, p. 45-60, 1993.

EHLERS, M. Sensoriamento remoto para usuários de SIG – sistemas sensores e métodos: entre as exigências do usuário e a realidade. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento remoto e Sig avançados.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. cap. 2, p. 19-38.

FARIAS, M. S. S. de. **Diagnóstico da necessidade de drenagem no perímetro irrigado de São Gonçalo.** 1999. 75 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para Windows 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2000. p. 255-258.

FERREIRA, M. M.; DIAS JUNIOR, M. S. **Física do solo.** Lavras: UFLA/FAEPE, 1999. 63 p.

FONTES, A. R. M.; BARBASSA, A. P. Diagnóstico e prognóstico da ocupação e da impermeabilização urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 137-147, abr./jun. 2003.

FUKS, S. D. Novos modelos para mapas derivados de informações de solos. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas aplicações na agricultura.** 2. ed. Brasília: EMBRAPA/SPI/CPAC, 1998. cap. 19, p. 373-410.

FURTINI, M. B. **Análise temporal da sub-bacia do córrego centenário em Lavras, MG**. 2005. 96 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

FURTINI, M. B.; FERREIRA, E.; SAMPAIO, F. M. T. Análise temporal da permeabilidade da superfície urbana da sub-bacia do córrego Centenário em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1145-1154, jul./ago. 2007.

GAVANDE, S. A. **Física de suelos, principios y aplicaciones**. 2. ed. México: Ed. Limusa, 1976. 351 p.

GROSSI SAD, J. H. **Fundamentos sobre variabilidade dos depósitos minerais**. Rio de Janeiro: DNPM/CPRM-GEOSOL, 1986. 141 p.

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

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. San Diego: Academic, 1982. 364 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Minas Gerais**: Lavras. 2008. Disponível em:
<<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 06 nov. 2008.

KOK, R. de; BUCK, A.; SCHNEIDER, T.; AMMER, U. Design de projeto modular na análise orientada a objetos. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento remoto e Sig avançados**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. cap. 4, p. 47-55.

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

LIBARDI, P. L.; MANFRON, P. A.; MORAES, S. O.; TUON, R. L. Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 20, n. 1, p. 1-12, 1996.

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

MARQUES, J. D. de O.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; CRUZ JUNIOR, O. F.; MARTINS, G. C. Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais no Baixo Amazonas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 38, n. 2, p. 193-206, 2008.

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. **Revista Cerne**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 32-41, 2002.

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

NEVES, M. **Estudo da permeabilidade do solo colapsível da região de São Carlos**. 1987. 138 p. Dissertação (Mestrado em Mecânica dos Solos) – Universidade de São Paulo, São Carlos.

PILZ, H.; STROBL, J. Análise de impermeabilização com base em ortofotografias aéreas coloridas digitais através de processamento de imagens orientadas a objetos. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento remoto e Sig avançados**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. cap. 15, p. 162-171.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 242 p.

PONS, N. A. D. **Levantamento e diagnóstico geológico – geotécnico de áreas degradadas na cidade de São Carlos-SP, com auxílio de geoprocessamento**. 2006. 210 p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, São Carlos.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: Salesward-Discovery, 1996. 446 p.

QUEIROZ, J. E. **Parâmetros hidro-dinâmicos de um solo de várzea para fins de drenagem subterrânea**. 1995. 167 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 188 p.

RIBEIRO, R. A. **Forma urbana e tipo de uso do solo como fatores determinantes para a geração de áreas urbanas impermeáveis**. 2006. 184 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SAMPAIO, F. de M. T. **Comportamento de atributos físicos de um latossolo submetido a diferentes tipos de manejo**. 2008. 95 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SCHIEWE, J.; TUFTE, L. O potencial de procedimentos baseados em regiões para a avaliação integrada de dados de SIG e sensoriamento remoto. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento remoto e Sig avançados**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. cap. 5, p. 56-65.

SILVA, A. B. da; BRITES, R. S.; SOUZA, A. R. de. Caracterização do meio físico da microbacia Quatro Bocas, em Angelim, PE, e sua quantificação por sistema de informação geográfica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 109-117, jan. 1999.

SILVA, A. P. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo**. 1988. 105 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

SOARES, P. V. **As interrelações de elementos do meio físico natural e modificado na definição de áreas potenciais de infiltração na porção paulista da bacia do rio Paraíba do Sul**. 2005. 192 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SOUZA, L. C. de. **Variabilidade espacial da salinidade de um solo aluvial no semi-árido paraibano, Campina Grande**. 1999. 77 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 5-27, jan./mar. 2002.

TUCCI, C. E. M. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção.
Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 5-12,
jul./dez. 1997.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Statistical methods in soil and land resource
survey**. Oxford: Oxford University, 1990. 316 p.

CAPÍTULO 3 - LEGISLAÇÃO URBANA APLICADA À PERMEABILIDADE DO SOLO

(O capítulo 3 será transcrito no formato do Periódico Engenharia Agrícola e encaminhado para submissão)

RESUMO

As ferramentas de sistemas de informações geográficas, aliadas a imagens de alta resolução são instrumentos importantes para o mapeamento de áreas urbanas, podendo ambos ser utilizados no diagnóstico do cumprimento da legislação urbana e da permeabilidade do solo. Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a aplicabilidade da Lei Federal no 6.766/79 na sub-bacia do córrego Centenário, em Lavras, MG e discorrer sobre a aplicação da taxa de permeabilidade inserida na Lei de Uso e Ocupação do Solo. Foi construído um banco de dados no programa SPRING, contendo cinco representações definidas pelas diretrizes da legislação. A partir de rotinas computacionais, elaboraram-se mapas de distância com uma faixa não-edificável de 15 m. Para cada mapa foram classificadas as regiões não ocupadas por edificações como “legalidade” e as regiões ocupadas por edificações como “ilegalidade”. Em seguida, foram analisadas as legislações aplicadas à área urbana, a Lei Federal 6766/79 e as Leis Municipais no 2.104/94 e no 156/08. Observou-se que a ocupação ilegal nas classes linhas de drenagem, nascentes, voçoroca, ferrovia e declividade perfazem 8,55, 0,12, 1,12, 0,35, 5,34 ha, respectivamente, para uma área de 56,54 ha que deveria estar nos moldes da lei. A aplicação da Lei Federal no 6766/79 e a Taxa de Permeabilidade de 10% deveriam ter uma área de 87,24 ha preservados. A aplicação retroativa das legislações impediria que a maioria dos lotes urbanos fosse apropriada. Constatou-se que, para aplicar a taxa de permeabilidade, as sub-bacias devem ser consideradas como unidade única de planejamento e a taxa de permeabilidade deve ter correlação com os valores de condutividade hidráulica de cada região.

Palavras-chave: Legislação, uso da terra, permeabilidade, urbanismo.

ABSTRACT

URBAN LAW APPLIED TO SOIL PERMEABILITY

The Geographical Information Systems tools together with high-resolution images are important tools for mapping urban areas. They can be used as a tool in the urban law enforcement and soil permeability diagnostic. This work was carried out with the objective of evaluating the applicability of the Federal Law n. 6766/79 to the sub-basin of the Centenário Creek in Lavras-MG and discussing the application of the permeability rate included in the Law of Occupation and Use of Soil. A database was built from SPRING program, which contains five representations defined by the legislation. Maps of distance with a 15-meter non-built track were produced from computational routines. For each map the regions not occupied by buildings "Legality" and the regions occupied by buildings "Illegality" were classified. Then, the laws applied to urban área, such as the Federal Law 6766/79, Law 2104/94 and in the Complementary Law 156/08 were examined. It could be noticed that the illegal occupation in the drainage lines, springs, gully, rail, and declivity classes corresponds to 8.55, 0.12, 1.12, 0.35, 5.34 ha respectively to 56.54-ha area, which should be along the lines of law. The application of the Law 6766/79 and permeability rate of 10% should have an area of 87.24 ha preserved. The retroactive application of laws would prevent the majority of urban lots from being appropriate. It was found that in order for the Permeability Rate being applied, the sub-basins should be considered as a single unit of planning and the Permeability Rate should be correlated with the hydraulic conductivity values of each region.

Keywords: Legislation, land use, permeability, urbanism.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a legislação urbanística começou a admitir a existência de parcelas da população que não têm acesso ao mercado imobiliário no final da década de 1970, quando se criaram dispositivos legais de parcelamento do solo urbano (Quinto Junior, 2003). Os loteamentos urbanos passaram a ser regidos pela Lei Federal nº 6.766 de 19/12/1979, que detalha as providências necessárias à legalização. Tratam-se de preceitos que têm alcance social, preparados com detalhes mais abrangentes do que no Decreto-Lei no 58, de 10/12/1937, que era orientado somente para loteamentos de áreas rurais (Rezende, 2004).

O parcelamento do solo constitui o instituto jurídico pelo qual se realiza a primeira e mais importante etapa de construção do tecido urbano, que é a urbanização. O objetivo maior do loteamento é exatamente o controle, pelo poder público, da ocupação. As redes de infra-estrutura urbana não podem ser implantadas às margens da legislação urbanística. Implantar o loteamento e não aplicar a legislação do município torna inócua qualquer política de planejamento urbano (Pinto, 2006).

Segundo Martins (2006), a existência das leis ao lado da ausência de alternativas habitacionais acessíveis para toda a população teve como consequência a crescente ocupação irregular e informal. Os loteamentos e as ocupações informais cresceram na franja urbana e nas áreas protegidas por lei.

As áreas urbanas são as regiões onde a degradação ambiental tem sido mais contundente e mais incômoda para a sociedade. Muitos destes impactos estão relacionados ao rápido processo de crescimento das cidades e das ocupações das áreas ribeirinhas que ocasionaram diversos danos ambientais, entre eles, a impermeabilização do solo, retirada da cobertura vegetal, mudanças climáticas, erosão do solo e poluição, entre outros (Brandão & Lima, 2002; Ferreira & Dias, 2004).

A impermeabilidade do solo é uma das degradações ambientais que merecem mais atenção em áreas urbanas. O crescimento indiscriminado destas áreas é um dos principais agentes no incremento do escoamento superficial e ocorrência de enchentes (Tucci, 2002; Centeno et al., 2003). Embora as legislações determinem uma porcentagem de área permeável para cada região, tal diretriz é, muitas vezes, desrespeitada, necessitando de um monitoramento de toda a superfície da bacia hidrográfica (Centeno et al., 2003). Para Pilz & Strobl (2007), o estudo da impermeabilização do solo é muito importante para se tomar as medidas corretas em relação às legislações que visem à sustentabilidade.

Os problemas gerados pela crescente urbanização, quase sempre, tiveram a adoção de soluções de caráter corretivo, implicando em grandes investimentos em obras que nem sempre contemplavam a solução dos problemas. Para a minimização dos problemas, é necessário o disciplinamento do uso e ocupação do solo e o controle do crescimento das áreas urbanas por meio do estudo da legislação dos municípios (Ostrowsky & Zmitrowicz, 1991).

Nesse contexto, a expansão urbana acelerada requer novos métodos de análise, fontes de dados e informações que potencializam o entendimento da dinâmica do crescimento urbano (Pedron et al., 2006). A espacialização das informações requer a utilização de sistemas nos quais sejam possíveis as integrações dos dados (Cabral et al., 2005).

Os mapas gerados em sistemas de informações geográficas (SIGs) permitem um entendimento global da área em estudo (Cabral et al., 2005). Além dos benefícios das informações coletadas pelas novas tecnologias SIGs, capazes de simplificar a obtenção das informações de forma rápida e eficiente (Piroli et al., 2002; Miller & Small, 2003), vários são os trabalhos que as utilizaram em estudos urbanos (Dias et al., 2002; Moura & Silva, 2004; Reder, 2007; Antunes & Centeno, 2007; Pinho et al., 2007).

A manipulação de variáveis ambientais em SIG facilita o conhecimento e o entendimento da realidade atual, promovendo a análise das necessidades para a ocupação urbana que garanta a manutenção dos ecossistemas. As aplicações computacionais permitem uma análise integrada dos aspectos físicos e fornecem informações úteis e coerentes na identificação das áreas compatíveis para a sua utilização. Esta integração possibilita o mapeamento e a identificação das principais áreas que se enquadram como transgressoras das legislações federais (Rodriguez, 2005).

A sinergia entre SIGs e imagens de sensores remotos possibilita identificar o uso e a ocupação da terra e sua transformação ao longo do tempo, tornando-se recursos essenciais na fiscalização e cumprimento da legislação. A interpretação de imagens auxilia na identificação de áreas desmatadas, queimadas, invadidas e ocupadas ilegalmente ou exploradas de forma irregular. Dessa maneira, serve como subsídio para impedir as agressões ao meio ambiente (Florenzano, 2002).

Para Centeno et al. (2003), as ferramentas de SIGs, aliadas a imagens de alta resolução aplicadas no mapeamento de áreas urbanas, podem ser utilizadas no diagnóstico do cumprimento da legislação urbana. O mapeamento das áreas impermeabilizadas pode ser realizado sob a forma de fotografias aéreas ou sob forma de imagens de satélite.

Segundo Moreira (2003), as imagens de alta resolução obtidas por diferentes plataformas, aliadas aos programas computacionais de processamento de imagens, possibilitaram o monitoramento de grandes áreas. Segundo Esteves (2006), a classificação das imagens permite a determinação de impactos ambientais urbanos de maneira mais rápida e econômica. Pilz & Strobl (2007) utilizaram ortofotografias aéreas digitais coloridas com resolução geométrica bem elevada para mapear superfícies impermeáveis. Segundo os autores, os

resultados de uma análise de impermeabilização são muito importantes para se tomar as medidas corretas com relação à lei.

Neste contexto, este trabalho foi realizado com os objetivos de avaliar a aplicabilidade da Lei Federal 6.766/79 na ocupação urbana da sub-bacia do Córrego Centenário e discorrer sobre a aplicação da taxa de permeabilidade inserida na Lei de Uso e Ocupação do Solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo foi a sub-bacia do córrego Centenário, que se localiza na área urbana do município de Lavras, MG, entre as coordenadas UTM 499.472; 501.504 m E e 7.649.473, 7.852.793 m N, fuso 23 K, localizada no sul do estado e considerada cidade pólo na região. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2008), a cidade tem população estimada em 87.421 habitantes, numa área da unidade territorial de 565 km².

Buscaram-se os princípios que a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979 (Casa Civil, 1979), fornece para nortear a aprovação dos loteamentos e quais as medidas por ela adotadas para preservar o meio ambiente. Para tanto, uma pesquisa documental foi feita na Prefeitura Municipal de Lavras, buscando informações da data de aprovação dos loteamentos e das regiões que são consideradas como de interesse da legislação. De acordo com a Lei Federal 6766/79, a fixação dos elementos norteadores, de âmbito geral, de requisitos urbanísticos para os loteamentos é descrita em dois capítulos. Todas as informações relevantes sobre o meio ambiente e a concepção da cidade foram extraídas desta lei: nascentes, córregos, áreas alagadiças e sujeitas a inundações, regiões com declividade igual ou superior a 30%, linha férrea e terrenos onde as condições geológicas (voçoroca) não devem ser destinadas à edificação.

O banco de dados da região analisada foi construído utilizando o programa SPRING (Câmara et al., 1996). Foram utilizadas as informações dos bancos de dados da Prefeitura Municipal de Lavras, ano de 1999 e 2006, contendo curvas de nível e pontos cotados, ortofotografias impressas do mapeamento em 1999 e ortofotografias digitais do mapeamento em 2006 com resolução espacial de 10 x 10 cm e a localização das áreas mapeadas com nascentes d'água.

Para a área total da sub-bacia, foram confeccionadas cinco representações das entidades do mundo real, definidas a partir das diretrizes que a legislação fornece para restringir o crescimento da cidade. Para o art. 3o, parágrafo único, definiram-se as representações da declividade e das condições geológicas. Para o art. 4o, definiram-se as linhas de drenagem, nascentes e ferrovia.

O ponto de partida foi analisar as linhas de drenagem, a partir de fotografias aéreas impressas que recobrem a área de estudo no ano de 1999 na escala 1:20.000. Prepararam-se acetatos com uma margem de amarração e delimitação da área útil, para aplicar técnicas de fotointerpretação (Marchetti, 1978). Tem-se como principal objetivo decalcar o divisor de águas, as linhas de drenagem e os cursos d'água permanentes e temporários. As informações desejadas foram transferidas para os acetatos, com o auxílio da visão estereoscópica. Após o reconhecimento da área em estudo, os acetatos foram transferidos para o formato digital, por meio de um scanner de mesa.

Em seguida, em ambiente CAD (desenho auxiliado por computador), foram digitalizados os acetatos e as regiões onde estão localizadas a linha férrea, a voçoroca e as nascentes, utilizando a ortofotografia de 2006. Para as áreas identificadas como linhas de drenagem e linha férrea, sua localização foi identificada na ortofoto por segmentos de linhas demarcados no eixo de cada região; para a voçoroca, utilizou-se a representação por polígono e as nascentes d'água tiveram suas localizações representadas por pontos. Os resultados foram importados para o banco de dados da região analisada.

Para analisar as áreas ocupadas nas declividades acima de 30%, gerou-se um modelo numérico do terreno ((MNT) baseado nas representações das curvas de nível e pontos cotados. Iniciou-se com a representação "Triangular Irregular Network" (TIN), triangulação de Delauney, utilizando como restrições as redes de drenagem. Em seguida, foi gerada a grade retangular, tendo resolução de 5 x

5 m e interpolador linear. Os produtos gerados pelas grades possibilitaram diferenciar a elevação entre os pixels. O resultado da declividade foi o fatiamento da matriz de declividade e definição da classe, empregando-se para a mesma intervalo variável.

Para identificar o uso da terra, buscou-se mapear todas as áreas que apresentassem na superfície do solo áreas permeáveis, áreas não cobertas por asfalto, telhados, áreas cimentadas e ou materiais impermeáveis. Para tanto, utilizando a ortofotografia de 2006, a sub-bacia hidrográfica foi digitalizada manualmente via tela, utilizando chaves de interpretação e identificada por padrões de assentamento estudados por Furtini et al. (2007).

A partir de rotinas computacionais, elaboraram-se mapas de distância de acordo com a faixa não-edificável de 15 m. Em cada mapa temático, foram classificadas as regiões não ocupadas por edificações, sendo denominadas de “legalidade” e as regiões ocupadas por edificações, denominadas de “ilegalidade”. Posteriormente, as informações obtidas no banco de dados foram comparadas por meio de tabulação cruzada e linguagem de programação em LEGAL.

Para analisar as legislações aplicadas para área urbana, utilizou-se como material a Lei Federal 6766/79. A Lei de Uso e Ocupação do Solo (Lavras, 2009), Lei no 2.104, de 1o de março de 1994 e a Lei Complementar no 156, de 22 de setembro de 2008, que dispõem sobre o zoneamento e regulamenta o uso e a ocupação do solo urbano do município de Lavras e dá outras providências.

A Lei de Uso e Ocupação do Solo Urbano foi analisada buscando-se informações dos parâmetros norteadores para aplicação da taxa de permeabilidade na área urbana e como estes são utilizados. Buscou identificar que relação a taxa de permeabilidade possui nas informações do meio físico da região e se esta relação é condizente com a atual ocupação da sub-bacia hidrográfica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A classificação dos planos de informação que possuem legalidade e ilegalidade encontra-se na Tabela 18.

TABELA 18 Resultado da classificação das áreas de legalidade e ilegalidade, em função das linhas de drenagem, nascentes, voçoroca, ferrovia e declividade, de acordo com a Lei Federal 6766-79 para a sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

Temas	Classes		Total
	Legalidade (ha)	Ilegalidade (há)	
Linhas de drenagem	18,82	8,55	27,37
Nascentes	0,44	0,12	0,56
Voçoroca	15,00	1,12	16,12
Ferrovia	4,46	0,35	4,81
Declividade	17,66	5,34	23,00
Total	56,38	15,48	71,86

A classificação das linhas de drenagem mostrou que 27,37 ha de suas margens devem ser preservadas. A ocupação ilegal nesses ambientes perfaz 31,23% de toda a extensão. Avaliou-se que 2,78% da sub-bacia hidrográfica possui edificações nas linhas de drenagem e nas margens do córrego Centenário e Santa Casa, do total de 71,86 ha de área que deveriam estar legalizados e preservados, segundo a lei. Esses resultados confirmam observações relatadas anteriores por Pedron et al. (2006), Piroli et al. (2002) e Cabral et al. (2005), de que a pressão antrópica sobre áreas naturais tem estado acima das legislações. A preservação das regiões que possuem vegetação nativa ocorre graças à aplicabilidade da legislação ambiental, além da conscientização das pessoas (Pereira et al., 2002).

O desmatamento e a substituição da cobertura vegetal natural são fatores que causam extravasamento nos cursos d'água (Pompeo, 2000). As enchentes provocadas pela urbanização estão relacionadas a diversos fatores, destacando o

excessivo parcelamento do solo, a impermeabilização dos solos e a ocupação das áreas ribeirinhas. Argumenta-se que a expansão urbana deve ser realizada de forma planejada, passando por soluções normativas (Pompeo, 2000; Zamuner et al., 2002).

Dias et al. (2002) relatam que os impactos ambientais negativos da ocupação humana afetam os parâmetros básicos (solos, geomorfologia, geologia, declividade, etc.), bióticos (vegetação e fauna) e antrópicos (infraestrutura, socioeconômicos). As atividades humanas transformam o ambiente natural em ambiente construído e, conseqüentemente, apresentam como resultado desequilíbrios ambientais.

Para Zamuner et al. (2002), as ocorrências de processos erosivos estão diretamente relacionadas ao crescimento vertiginoso da população urbana, sobre um processo sem planejamento urbano e regional. Essa característica de ocupação destrói as vegetações nativas, alterando o escoamento superficial das águas pluviais e criando voçorocas e taludes instáveis, agravando as enchentes pelo volume de sedimentos depositados nos córregos. Para os mesmos autores, os maiores impactos na bacia hidrográfica são produzidos pelo incremento das vazões do escoamento superficial, advindos da grande impermeabilização das superfícies.

Maróstica et al. (2003) observaram que as estruturas de calhas a céu aberto utilizadas para canalização de córregos em áreas urbanas evitam que a água dissipe, formando caminhos preferenciais e, por consequência, novos sulcos que dão origem às voçorocas e a outras degradações.

Alguns autores verificaram que a utilização da canalização dos córregos provoca impactos, principalmente no final destas calhas, onde a energia d'água provocou valas, erosões e assoreamento (Maróstica et al., 2003; Brandão & Lima, 2002).

O curso das águas dos córregos Santa Casa e Centenário estão canalizados. O córrego Santa Casa tem estrutura em concreto toda fechada, com edificações apropriando o seu leito. O córrego centenário possui estrutura de concreto fechada e aberta; algumas edificações utilizam a estrutura da canalização para construir seus muros de divisa. A estrutura de concreto aberta inicia quando os córregos Santa Casa e Centenário se encontram. Visitas in loco mostraram que toda a sua extensão possui edificações na estrutura, ocorrendo deposição de esgoto e lixo no seu leito e erosões na união das tubulações. Na Figura 18 estão representadas as linhas de drenagem cujas margens devem ser preservadas e os locais ocupados irregularmente.

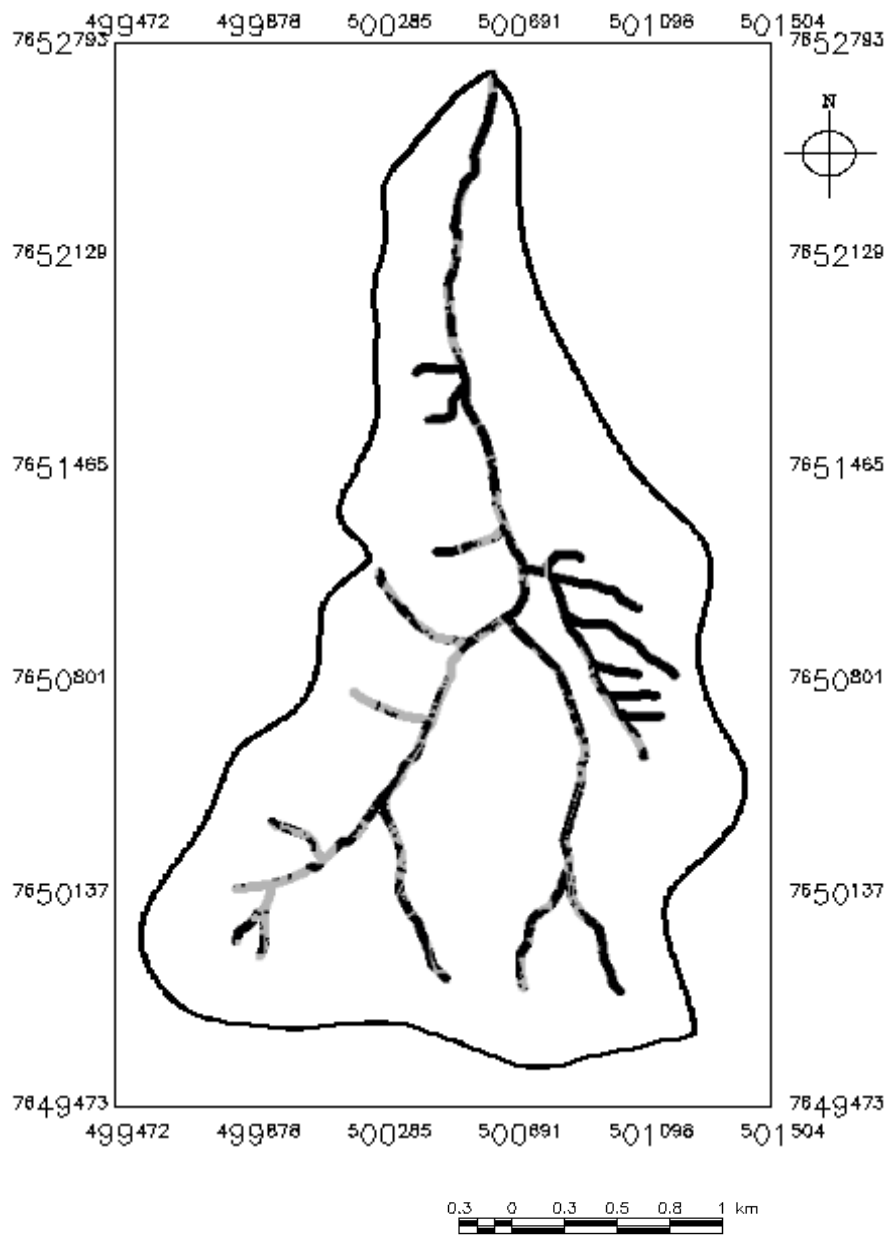


FIGURA 18 Regiões das linhas de drenagem. Áreas não ocupadas em preto, ocupação irregular em cinza. Sub-bacia do córrego Centenário, Lavras - MG.

A sub-bacia hidrográfica possui 7,49% de declividade com inclinação igual ou maior que 30%, numa área total de 307 ha. As classes de declividade igual ou superior a 30% correspondem a 32% da área total classificada segundo a Lei 6766/79. Segundo Piroli et al. (2002), a utilização dessas áreas é desaconselhável devido aos riscos que as mesmas representam. Dentro dessas áreas, 5,34 ha estão ocupados por edificações em desacordo com a legislação.

De acordo com Dias et al. (2002) e Gonçalves et al. (2004), a expansão e o adensamento das áreas urbanas têm propiciado a ocupação do solo em áreas inadequadas e terrenos problemáticos. Tal situação traz como consequência a ocupação das encostas de maior declividade e fundos de vale, sujeitando a população a riscos de deslizamentos e enchentes. Para Silva & Porto (2003), as ações adotadas em áreas urbanas necessitam do planejamento territorial de uso e ocupação do solo, cuja esfera de atuação está nos municípios e não no setor de recursos hídricos.

Para a concretização de projetos em áreas urbanas, torna-se necessária a regulamentação mediante dispositivos legais, que deverão ser discutidos com a comunidade e a aprovação por consenso entre a população, líderes locais e os poderes Legislativo e Executivo. Na Figura 19 estão representadas as regiões da sub-bacia onde a declividade está acima do permitido por lei para edificar e os locais onde estão sendo apropriados ilegalmente.

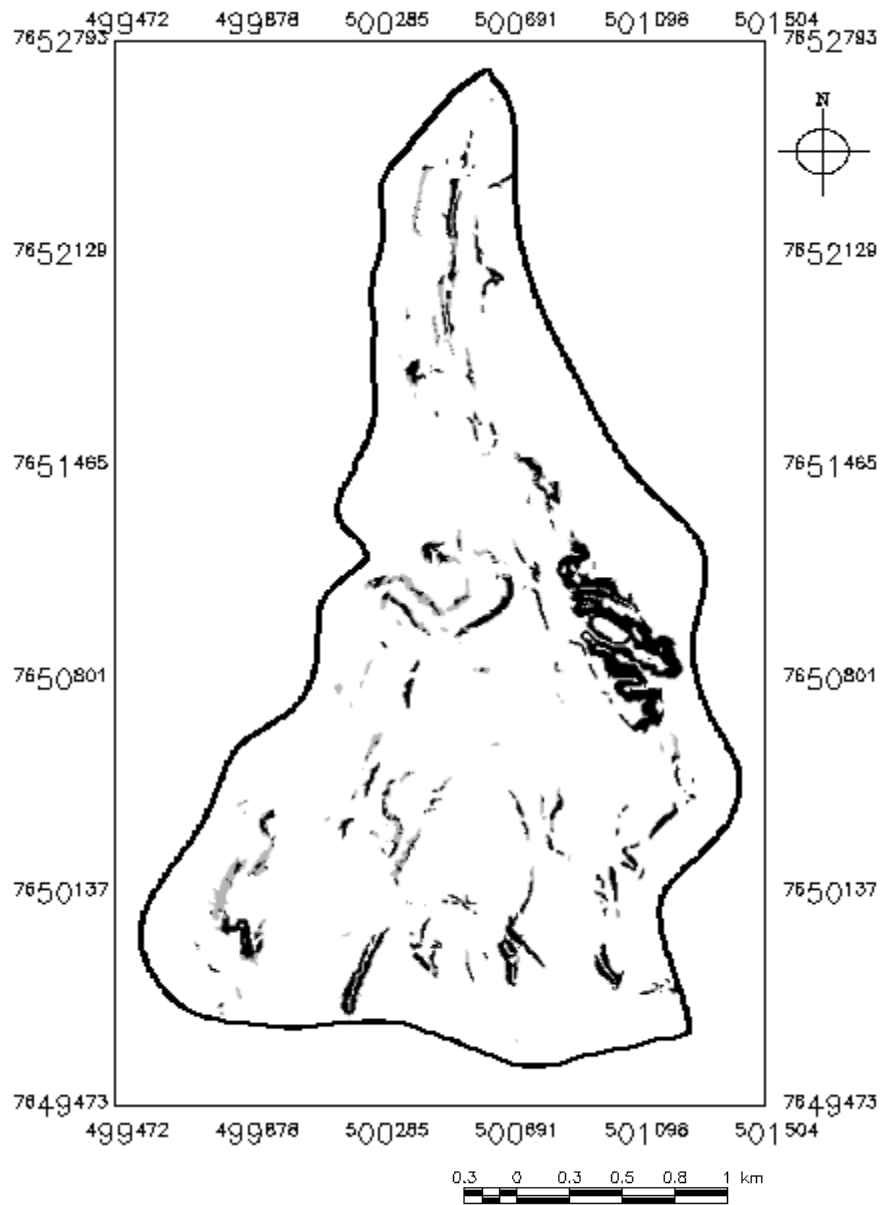


FIGURA 19 Regiões com declividade igual ou superior a 30%. Áreas não ocupadas em preto e ocupação irregular em cinza. Sub-bacia do córrego Centenário, Lavras - MG.

A sub-bacia do córrego Centenário possui uma voçoroca de 16,12 ha que, de acordo com os dispositivos da legislação federal estudada, deveria ser preservada, pois as condições geológicas não são adequadas à edificação. Da área total de 307 ha da sub-bacia, a voçoroca ocupa 5,25%. O resultado da ilegalidade das edificações nesta região é de 6,95% do total de 16,92 ha de áreas que deveriam possuir a legalidade.

Pode-se verificar que uma série de agressões é praticada, visando obter máxima exploração da área urbana. A intensificação da utilização da área da voçoroca e áreas limítrofes para fins diversos tem como primeiro passo a retirada da proteção natural, a vegetação, que, inevitavelmente, agravará o processo de erosão, deixando as residências limítrofes sujeitas a danos estruturais.

As voçorocas urbanas apresentam um problema preocupante. Grande parte dos voçorocamentos ocorre devido ao grande volume de água do período chuvoso, que é transportada pela impermeabilização do solo dos bairros localizados nas áreas a jusante à mesma. Verificou-se que, apesar de apresentarem ameaças às residências, nenhuma medida para o controle é providenciada (Brandão & Lima, 2002).

Segundo Maróstica et al. (2003), o aumento do volume de água pluvial é um dos principais fatores para o aparecimento de erosões. Algumas medidas para a contenção das erosões são tomadas sem o devido planejamento técnico, tornando-se obras paliativas. A evolução das erosões compromete as edificações existentes nas suas proximidades, suas fundações ficam expostas e perdem sustentação, ocasionando a interdição por medida de segurança.

Na Figura 20 são apresentadas as áreas que deveriam ser preservadas e os locais que estão sendo ocupados por edificações.

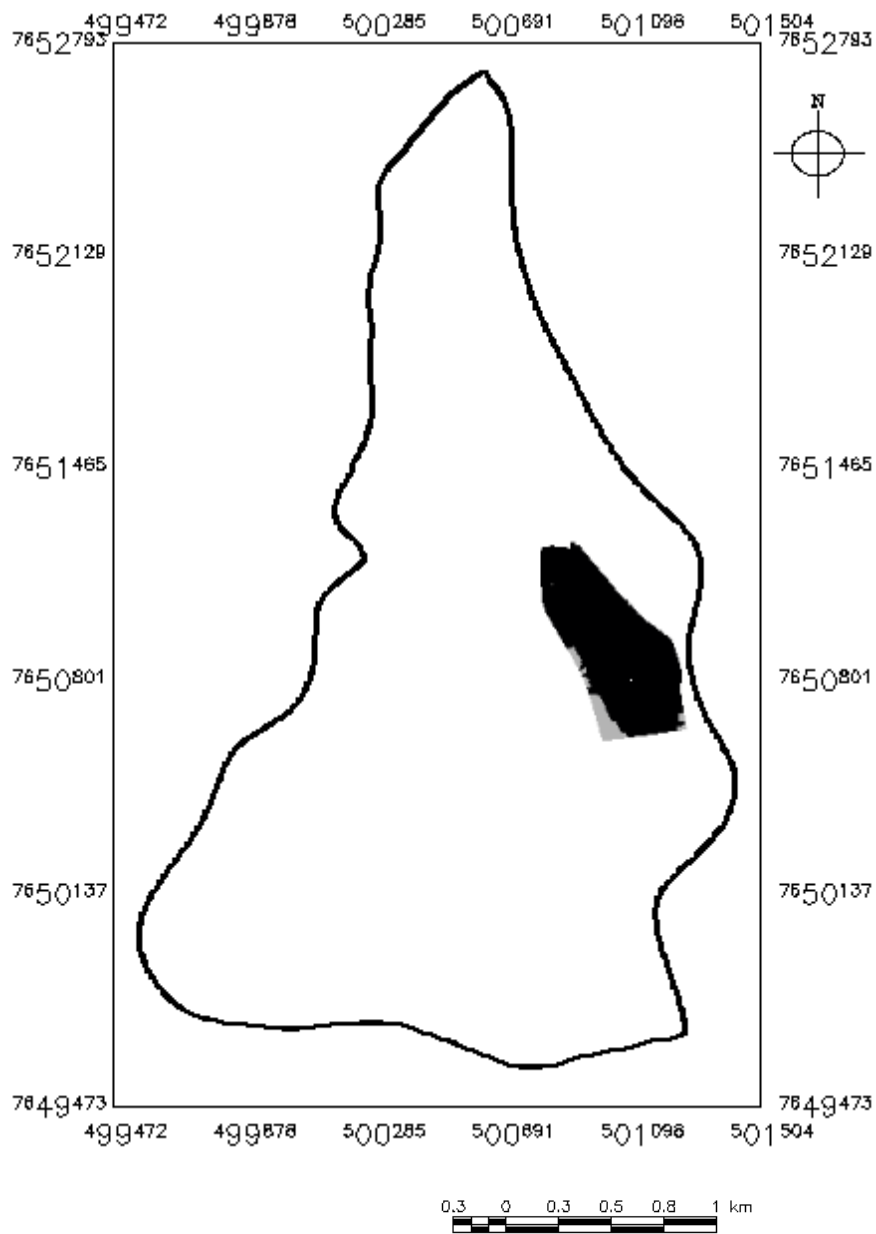


FIGURA 20 Localização da voçoroca. Áreas não ocupadas em preto, ocupação irregular em cinza. Sub-bacia do córrego Centenário, Lavras - MG.

De acordo com os dados levantados na Prefeitura Municipal de Lavras, a região estudada possui oito nascentes, ocupando 0,56 ha da área total da sub-bacia. Essas nascentes afloram em locais que estão ocupados por edificações ou em região cujas condições geológicas não são adequadas ao uso. Do total a ser preservado, 21,43% possuem edificações nas áreas não edificáveis. As edificações irregulares ocupam 0,12 ha da área que deveria ser preservada.

As áreas susceptíveis de degradação, localizadas em áreas urbanas não possuem planos de controle, nem fiscalização por parte das autoridades competentes. O planejamento dessas áreas, bem como a aplicação de práticas conservacionistas, é recomendável para preservar os recursos naturais disponíveis nesses ambientes (Moraes Neto et al., 2002).

A antiga linha de férrea possui 1,77 km de percurso dentro da sub-bacia. A ocupação ilegal nesses ambientes corresponde a 0,35 ha de toda a classificação. Avaliou-se que 4,81 ha da sub-bacia hidrográfica devem ser preservados, do total de 71,86 ha, segundo a lei. Numa avaliação mais detalhada, utilizando as imagens da região, observa-se que os locais classificados com ocupação ilegal são áreas que apresentam vias de acesso a bairros, que fazem a transposição das ruas.

Na Figura 21 podem ser observadas as regiões nas quais afloram as nascentes e a localização da linha férrea e os locais que apresentam legalidade e ilegalidade.

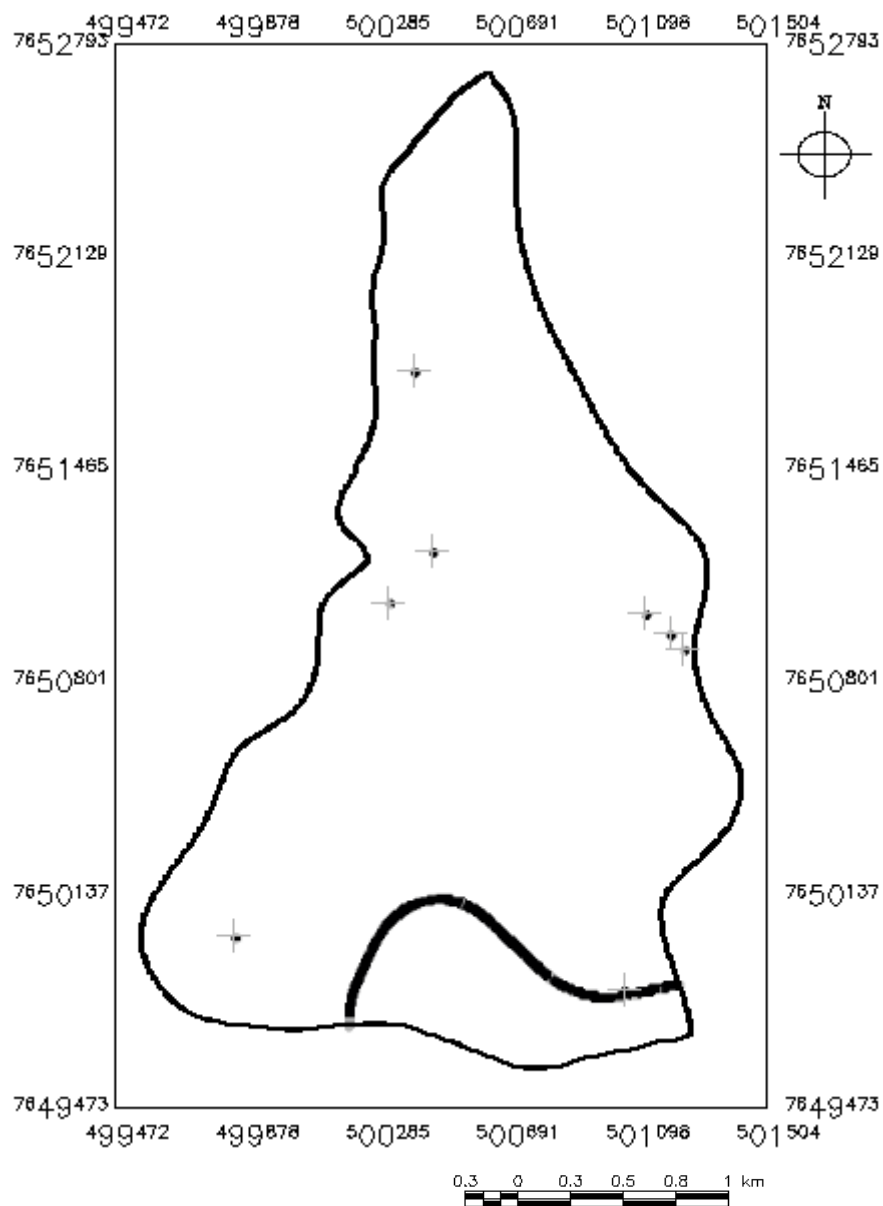


FIGURA 21 Regiões das nascentes e da linha férrea. Áreas não ocupadas em preto, ocupação irregular em cinza. Sub-bacia do córrego Centenário, Lavras - MG.

O resultado da classificação dos mapas temáticos obtidos da sub-bacia, de acordo com a Lei Federal 6766-79, mostrou que, do total da classe de 71,86 ha que deveria ser preservado, a ilegalidade ocupa 15,48 ha deste valor. Pode ser observado que, de acordo com a área total da sub-bacia hidrográfica, total de 307 ha, 23,41% de sua extensão deveriam atender à Lei Federal 6766-79, ou seja, estas áreas deveriam ser preservadas, mas 5,04% apresentam-se de forma irregular.

As áreas mais ocupadas por edificações são as linhas de drenagem, a voçoroca e as regiões com declividade acima de 30%. A porção oeste da sub-bacia caracteriza-se como a área que mais sofreu com a ilegalidade, principalmente nas linhas de drenagem.

As principais causas das ocupações fora dos padrões legais são a falta na execução do planejamento urbano e a especulação imobiliária, motivando o descumprimento da legislação vigente e a segregação sócio-espacial. As legislações encaram a questão ambiental como um acontecimento isolado, tendo uma abordagem sem inter-relações (Carneiro & Faria, 2005). Na Figura 22, podem ser observadas as regiões na sub-bacia que deveriam ser preservadas.

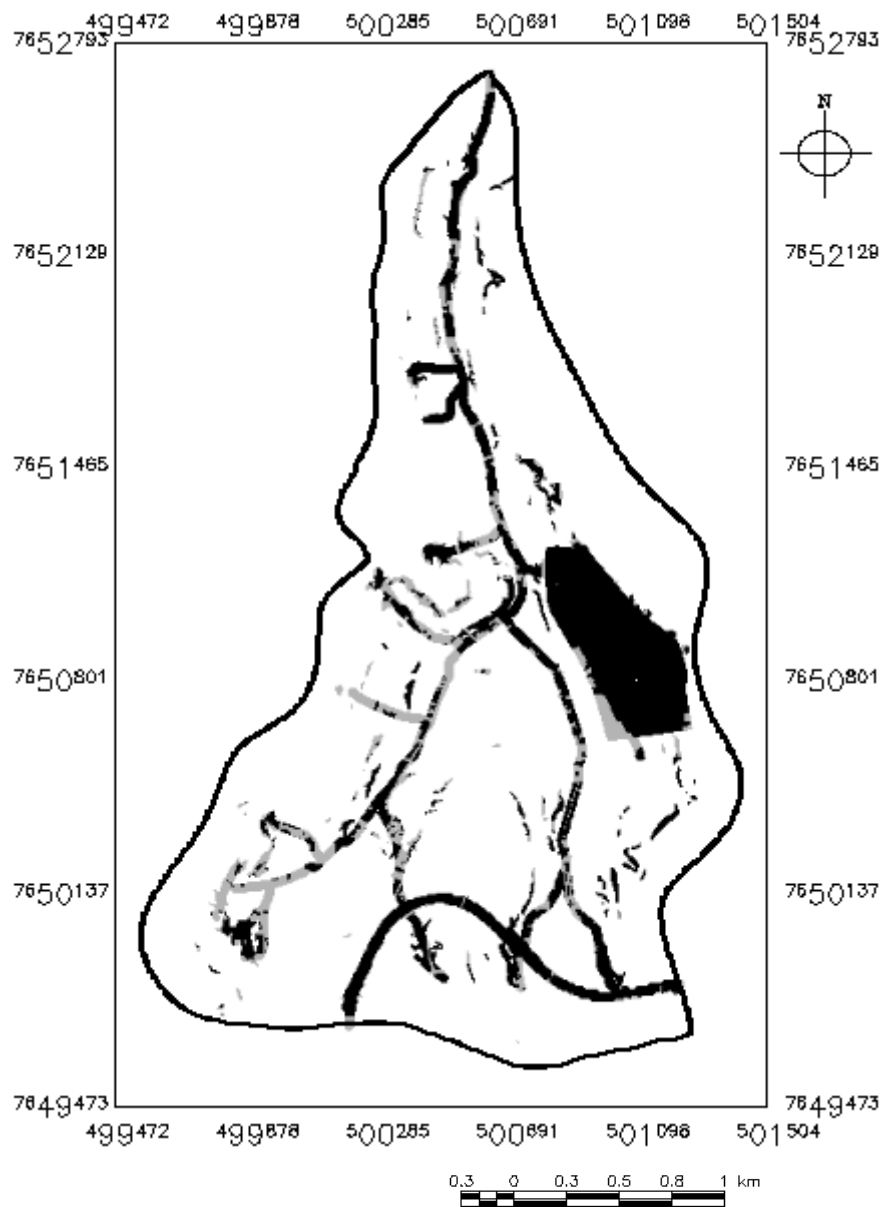


FIGURA 22 Regiões classificadas segundo a Lei Federal 6766/79. Áreas não ocupadas em preto, ocupação irregular em cinza. Sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

Efetuiu-se o cruzamento das informações buscando identificar nos mapas as linhas de drenagem, nascentes, voçorocas, ferrovia e declividade, buscando a justaposição dos planos de informação. Esta ferramenta permitiu avaliar áreas sobrepostas e regiões onde há duplo descumprimento da lei.

A tabulação das informações mostrou que, para as áreas coincidentes entre as classes que representam a Lei 6.766/79, a justaposição das informações é de 15,32 ha, ou seja, 5% da área total da sub-bacia e 21,31% do total de 71,86 ha mapeados, regiões que deveriam estar legalizadas. O resultado representa que, para a sub-bacia hidrográfica, 56,54 ha devem atender à Lei Federal 6766/79, ou 18,42% da área total da sub-bacia.

As diretrizes da Lei de Uso e Ocupação do Solo (Lei no 2.104, de 01 de março de 1994) estabelecem os parâmetros taxa de ocupação (TO), que é a percentagem de área construída permitida para ocupar horizontalmente cada lote urbano e o coeficiente de aproveitamento (CA) para cada zona urbana, que define o valor da área total a ser construída em cada terreno. A legislação não definia uma porcentagem de áreas permeáveis para cada lote ou sub-bacia. As edificações podiam impermeabilizar todo o terreno e não tinham um limite de ocupação do solo para a área total da sub-bacia.

Nos anos antecedentes a 2008, não havia instrumentos específicos na legislação do município para promover o aproveitamento das áreas permeáveis na sub-bacia. A única regulamentação para este provimento foi a Lei Federal 6766/79, que não tratava especificamente deste assunto. Para os preceitos da legislação neste caso, as áreas preservadas deveriam ter um trecho de 56,54 ha que poderiam ser considerados como permeáveis, minimizando, assim, os impactos pela falta de regulamentação da taxa de permeabilidade e, como consequência, preservando a infiltração da água no solo.

Com a aprovação do plano diretor do município de Lavras, MG, obrigatória para municípios com mais de 20.000 habitantes, a cidade passou a

dispor de nova legislação tratando do zoneamento urbano e regulamentando o uso e a ocupação do solo urbano. Esse novo instrumento fixou a taxa de permeabilidade (TP) para o município.

A partir da Lei Complementar nº 156, de setembro de 2008, que dispõe sobre o zoneamento e regulamenta o uso e a ocupação do solo urbano do município de Lavras e dá outras providências, a taxa de permeabilidade tornou-se obrigatória para as apropriações dos lotes urbanos, dispondo dos valores de 10% para áreas de até 500 m² em usos diversos, de 20% para áreas de até 360 m² em usos institucionais, 10% para área de até 1.000 m² em uso industrial e de até 30% para as regiões onde o adensamento urbano é restrito.

A aplicação da taxa de permeabilidade na sub-bacia hidrográfica do córrego Centenário, considerando a região sem nenhuma apropriação do solo, deveria ter uma área de 87,24 ha preservados, de acordo com os parâmetros da lei 6766/79 e TP de 10%. Atualmente, as superfícies permeáveis correspondem a 118,73 ha da sub-bacia, 38,7% da área total (Furtini et al., 2009). A aplicação retroativa das legislações impediria que a maioria dos lotes urbanos fosse apropriada, aproximadamente 1.050 lotes de 300 m².

Verifica-se que a aplicação da legislação federal garante mais áreas permeáveis que a utilização da taxa de permeabilidade com valor local de 10%. Cabe ressaltar que as áreas dos lotes urbanos que devem infiltrar água no solo podem estar promovendo escoamento superficial, devido a valores baixos de permeabilidade do solo. Aplicar a TP e não averiguar se há infiltração de água no solo é onerar o custo das edificações e causar patologias em consequência da água.

A aplicabilidade da taxa de permeabilidade deve estar embasada segundo os valores da permeabilidade do solo. Quanto maior for a infiltração da água no solo, maior será a taxa de permeabilidade aplicada. Assim, de acordo com a TP, serão definidos os demais parâmetros urbanísticos: taxa de ocupação

e o coeficiente de aproveitamento. As regiões onde a permeabilidade do solo for baixa, a TO e o CA poderão ter valores maiores. Em contrapartida, as regiões mais permeáveis devem ser restringidas a TO, podendo a legislação compensar a desvalorização dessas áreas com o aumento do CA. Para a região analisada, propõe-se a aplicação da taxa de permeabilidade de acordo com a adaptação dos valores de condutividade hidráulica.

A utilização do parâmetro taxa de permeabilidade com valores mais altos irá proporcionar a abertura de novos loteamentos com o tamanho dos lotes adequados à nova realidade. Nas regiões que tiverem uma TP muito alta em relação ao terreno, os proprietários podem compensar a infiltração da água no solo por sistemas de captação e armazenamento da água pluvial, amortecendo a vazão das chuvas nos corpos receptores e utilizando-as para fins menos nobres.

4 CONCLUSÕES

Pode-se verificar que 15,48 ha da sub-bacia do córrego Centenário estão irregulares, perfazendo 5,04% da área total da sub-bacia. As regiões mais ocupadas por edificação são os locais que apresentam a classificação das linhas de drenagem e declividade. As regiões ocupadas por edificações fora dos parâmetros da legislação federal fazem parte de aproximadamente 516 lotes urbanos, com área de 300m².

Os bairros da sub-bacia, na sua maior totalidade, caracterizam-se com datação da aprovação dos loteamentos anterior à vigência da legislação federal, possibilitando a ocorrência de um padrão de assentamento em desacordo com o exigido atualmente. As áreas legalizadas, ou melhor, as áreas que ainda não foram edificadas fora dos padrões exigidos pela lei, possibilitam uma ampla intervenção; perfazem 56,38 ha ou 18,36% da área total de 307 ha, melhorando as condições de vida e do meio ambiente.

Para a região analisada, propõe-se que a taxa de permeabilidade, utilizada na legislação do município seja fundamentada nos valores de condutividade hidráulica, considerando a sub-bacia como unidade única de planejamento. O valor da taxa de permeabilidade deve ser o primeiro instrumento de gestão urbana definido na legislação, fazendo com que os demais coeficientes e taxas sejam baseados a partir dela.

A taxa de permeabilidade deve ser cobrada para a área total da sub-bacia, não havendo necessidade da aplicação nos lotes urbanos, visto que estes são áreas que sofrem diversas intervenções e acesso restrito para fiscalização.

As áreas que apresentam maior facilidade de infiltração de água no solo (maior permeabilidade do solo) devem ser utilizadas como área de preservação permanente urbana (APPUrbs), podendo ser destinadas ao lazer e à recreação. As regiões limítrofes dessas APPUrbs que confrontam-se com lotes urbanos

devem permitir que os proprietários dos lotes utilizem as áreas limítrofes como uma segunda fachada para suas residências, tornando-as constantemente apropriadas, evitando, assim, vazios urbanos.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, A. F. B.; CENTENO, J. A. S. Aplicação de dados sensores remotos de alta resolução em zonas urbanas. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento remoto e Sig avançados**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. cap. 18, p. 189-197.

BRANDÃO, S. L.; LIMA, S. do C. Diagnóstico ambiental das áreas de preservação permanente (app), margem esquerda do rio Uberabinha, em Uberlândia (MG). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 3, n. 7, p. 41-62, out. 2002.

CABRAL, J. B. P.; BECEGATO, V. A.; SCOPEL, I.; LOPES, R. M. Uso de técnicas de geoprocessamento para mapear o potencial natural de erosão da chuva na bacia hidrográfica do reservatório de Cachoeira Dourada-GO/MG. **Revista RA'E GA**, Curitiba, v. 10, p. 107-116, 2005.

CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J.; MITSUO, F. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, São José dos Campos, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

CARNEIRO, P. A. S.; FARIA, A. L. L. Ocupação de encostas e legislação urbanística em Viçosa (MG). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 6, n. 14, p. 120-138, fev. 2005.

CASA CIVIL. Presidência da Republica. **Lei n. 6.766**, 19 dez. 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6766.htm>. Acesso em: 28 set. 2007.

CENTENO, J. A. S.; ANTUNES, A. F. B.; TREVISAN, S.; CORREA, F. Mapeamento de áreas permeáveis usando uma metodologia orientada a regiões e imagens de alta resolução. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 55, p. 48-56, jul. 2003.

DIAS, J. E.; GOMES, O. V. de O.; COSTA, M. S. G. C. da; GARCIA, J. M. P.; GOES, M. H. de B. Impacto ambiental de enchentes sobre áreas de expansão urbana no município de Volta Redonda/Rio de Janeiro. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 19-26, jul./dez. 2002.

ESTEVEES, R. L. **Quantificação das superfícies impermeáveis em áreas urbanas por meio de sensoriamento remoto**. 2006. 106 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília.

FERREIRA, D. A. C.; DIAS, H. C. T. Situação atual da mata ciliar do ribeirão São Bartolomeu em Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 4, p. 617-623, 2004.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. cap. 7, p. 81-91.

FURTINI, M. B.; FERREIRA, E.; SAMPAIO, F. M. T. Análise temporal da permeabilidade da superfície urbana da sub-bacia do córrego Centenário em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1145-1154, jul./ago. 2007.

FURTINI, M. B.; FERREIRA, E.; SAMPAIO, F. de M. T. Evolução urbana na caracterização das superfícies impermeáveis. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal, RN. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 691-698.

GONÇALVES, C. D. A. B.; SOUZA, Í. de M.; PEREIRA, M. N.; FREITAS, C. da C. **Análise do ambiente urbano visando a inferência populacional a partir do uso de dados de sensoriamento remoto orbital de alta resolução**. São José dos Campos: INPE, 2004. 63 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Minas Gerais**: Lavras. 2008. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 06 nov. 2008.

LAVRAS. Prefeitura Municipal. **Lei de uso e ocupação do solo**. 2009. Disponível em: <<http://www.lavras.mg.gov.br/site/src/build.php?type=template&value=index>>. Acesso em: 10 abr. 2009.

MARCHETTI, D. A. B. **Princípios de fotogrametria e fotointerpretação**. São Paulo: Nobel, 1978. 257 p.

MARÓSTICA, L. M. da F.; MERENDA, E. A.; MARÓSTICA, F. B.; BUOGO, R.; MACIEL, L. F.; ANGELIS NETO, G. de; ANGELIS, B. L. D. de. Estudo do manejo das erosões em uma unidade de conservação urbana: Parque do Ingá, Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 97-102, 2003.

MARTINS, M. L. R. Globalização, informalidade e regulação em cidades latino-americanas. **Cadernos PROLAM/USP**, São Paulo, v. 1, n. 5, p. 31-49, 2006.

MILLER, R. B.; SMALL, C. Cities from space: potencial applications of remote sensing in urban environmental research and policy. **Environmental Science & Policy**, v. 6, Issue 2, p. 129-137, Apr. 2003.

MORAES NETO, J. M. de; BARBOSA, M. P.; FERNANDES, M. de F.; SILVA, M. J. da. Avaliação da degradação das terras nas regiões oeste e norte da cidade de Campina Grande, PB: um estudo de caso. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 180-182, 2002.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2003. 307 p.

MOURA, A. C. M.; SILVA, J. X. da. Geoprocessamento aplicado à caracterização e planejamento urbano de Ouro Preto-MG. In: SILVA, J. X.; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento & análise ambiental: aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. cap. 6, p. 217-258.

OSTROWSKY, M. de S. B.; ZMITROWICZ, W. **Urbanização e controle de enchentes: o caso de São Paulo: seus conflitos e inter-relações**. São Paulo: EPUSP, 1991. 16 p.

PEDRON, F. de A.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C. de; POELKING, E. L.; MIGUEL, P. Utilização do sistema de avaliação do potencial de uso urbano das terras no diagnóstico ambiental do município de Santa Maria-RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 468-477, mar./abr. 2006.

PEREIRA, E. A.; SOUSA, A. de P.; CAMPOS, S. Mapeamento do uso do solo nas sub-bacias dos córregos São José e Água do Ventura, Bauru (SP). **Irriga**, Botucatu, v. 7, n. 3, p. 191-200, set./dez. 2002.

PILZ, H.; STROBL, J. Análise de impermeabilização com base em ortofotografias aéreas coloridas digitais através de processamento de imagens orientadas a objetos. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento remoto e Sig avançados**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. cap. 15, p. 162-171.

PINHO, C. M. D.; KUX, H. J. H.; ALMEIDA, C. M. Influência de diversos padrões de ocupação do solo urbano na qualidade de mapeamentos de cobertura do solo em imagens de alta resolução espacial: estudo de caso São José dos Campos (SP). In: BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento remoto e Sig avançados**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. cap. 19, p. 198-208.

PINTO, V. C. Ocupação irregular do solo urbano: o papel da legislação federal. **Jus Navigandi**, Teresina, v. 10, n. 1149, ago. 2006.

PIROLI, E. L.; BECKER, E. L. S.; BOLFE, E. L.; PEREIRA, R. S. Análise do uso da terra na microbacia do Arroio do Meio – Santa Maria-RS, por sistema de informações geográficas e imagem de satélite. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 3, p. 407-413, 2002.

POMPEO, C. A. Drenagem urbana sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 15-23, jan./mar. 2000.

QUINTO JUNIOR, L. de P. Nova legislação urbana e os velhos fantasmas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 17, n. 47, p. 187-190, jan./abr. 2003.

REDER, J. Desenvolvimento de um procedimento semi-automático para a detecção de novas áreas de ocupação humana, por meio de pesquisas comparativas de dados de satélite de alta resolução para o planejamento urbano e regional. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento remoto e Sig avançados**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. cap. 17, p. 180-188.

REZENDE, A. C. F. de. Loteamento e desmembramento urbanos. **Jus Navigandi**, Teresina, v. 8, n. 408, ago. 2004.

RODRIGUEZ, A. C. M. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados na análise da legislação ambiental no município de São Sebastião (SP)**. 2005. 201 p. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

SILVA, R. T.; PORTO, M. F. do A. Gestão urbana e gestão das águas: caminhos da integração. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 17, n. 47, p. 129-145, jan./abr. 2003.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 5-27, jan./mar. 2002.

ZAMUNER, L. D.; NÓBREGA, M. T. de; MARTONI, A. M. A urbanização e o desencadeamento de processos erosivos em área de preservação ambiental na cidade de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 6, p. 1793-1800, 2002.