

# ANÁLISE TEMPORAL DA PERMEABILIDADE DA SUPERFÍCIE URBANA DA SUB-BACIA DO CÓRREGO CENTENÁRIO EM LAVRAS, MG

## Temporal analysis of permeability urban surfaces locaty of the Centenário sub-basin creek in Lavras, MG

Marcelo Barbosa Furtini<sup>1</sup>, Elizabeth Ferreira<sup>2</sup>, Fabrício de Menezes Telo Sampaio<sup>3</sup>

### RESUMO

Nos últimos anos, séries de estudos têm sido realizadas por estudiosos de diferentes áreas para estabelecer os efeitos da urbanização na hidrologia de sub-bacias. O processo de urbanização freqüentemente produz alterações na drenagem da água pluvial. Um SIG com dados cadastrais planaltimétricos e fotografias aéreas permitiram estudar a ocupação em 3 diferentes períodos (1999, 1986 e 1971) na sub-bacia do Centenário, na cidade de Lavras, MG. Objetivou-se com este estudo realizar a análise temporal da permeabilidade da superfície na sub-bacia do Centenário comparando os 3 períodos. A permeabilidade da superfície urbana foi obtida pela análise da ocupação dos quarteirões por área construída ou pavimentada. Os resultados permitiram verificar que a permeabilidade da superfície decaiu de 1971 para 1999. Nestes anos a área urbana cresceu reduzindo a permeabilidade do solo da sub-bacia. Conclui-se que, sendo óbvio que a urbanização causou impactos na sub-bacia, as metodologias utilizadas para essas análises foram muito eficientes para determinar os impactos de superfícies impermeáveis.

**Termos para indexação:** Sistema de informações geográficas, uso do solo, impermeabilidade, urbanismo.

### ABSTRACT

Over the past years, a series of studies have been undertaken by scientists of different areas, to assess the effects of urbanization on the hidrology of subbasins. The urbanization process has frequently been done alterations on the drainage of pluvial water. A GIS data base containing the cadastral planiltimetric charts and aerial photographs allowed to study the land occupation in three different periods (1999, 1986 and 1971) of the Centenário Subbasin in Lavras city, MG. So, the subject of this study was to realize a temporal analysis of the surface permeability of the Centenário subbasin comparing the three periods. The urban surface permeability was availed by the analysis of the city's squares occupation per builtd or paved area. The results permitted verify that the surface permeability downed from 1971 to 1999 years. In these years the urban area growed up avoiding the soil subbasin permeability. The conclusion that urbanization caused impacts on the subbasin was obvious, however the methodologies employed for the analysis in this work were too much efficient to determine the impacts of impervious surfaces.

**Index terms:** Geographical information system, land use, impermeability, urbanism.

(Recebido em 19 de abril de 2005 e aprovado em 14 de novembro de 2005)

### INTRODUÇÃO

Nos dois últimos séculos, muitos cursos d'água foram modificados com intuito de escoar rapidamente as águas, drenar baixadas úmidas e ampliar áreas para assentamento. A velocidade das águas aumentou devido à impermeabilização do solo, e as intervenções objetivaram apenas os aspectos setoriais e não aqueles culturais, sanitários, ecológicos, urbanísticos e paisagísticos.

Para Dozena (2001), o uso e a ocupação do solo com a qualidade de vida e a qualidade ambiental nas cidades estão diretamente associados. Na cidade, estas relações são complexas, originando uma diferenciação espacial que intensifica os conflitos sociais.

Segundo Centeno et al. (2003), grande parte dos modelos hidrológicos que tratam da drenagem urbana necessita conhecer da área impermeável e a modificação das condições de escoamento das bacias devido à ocupação do solo, pois o aumento de áreas impermeáveis aumenta o escoamento superficial. Para Schueler (1994), a qualidade do fluxo de escoamento da água começa a degradar quando mais que 10% da área de uma sub-bacia é impermeabilizada. Tucci (2000) relacionou o aumento do volume de escoamento superficial em bacia urbanas em função da porcentagem de impermeabilização e observou que superfícies impermeabilizadas em 7, 20, 60 e 80% produziram, respectivamente, aumentos aproximados de 2, 3, 6 e 8 vezes no volume de escoamento.

<sup>1</sup>Arquiteto Urbanista, Doutorando em Engenharia Agrícola – Departamento de Engenharia/DEG da Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – marcelofurtini@gmail.com

<sup>2</sup>Engenheira Agrícola, DSc., Professora do Departamento de Engenharia/DEG da Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – bethf@ufla.br

<sup>3</sup>Engenheiro Agrícola, Doutorando em Agronomia – Departamento de Engenharia/DEG – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – flabricio@yahoo.com.br

O estudo do uso e ocupação do solo em sub-bacias hidrográficas tem sido feito por meio do uso de fotografias aéreas verticais, imagens de satélite e sistemas de informação geográficas (SIG's). Deganutti & Barros (2001) utilizaram o SIG IDRISI para quantificar e analisar a distribuição de áreas de diversas ocupações do solo (campo sujo, cultura, eucalipto, mata, pastagem e várzea), em duas fazendas, nos anos de 1962, 1985 e 1998, por meio do uso de fotografias aéreas e imagem do satélite LANDSAT. Jorge & Sartori (2002) elaboraram mapas de vegetação em dois períodos (1978 e 1997), de uma destas fazendas, para verificar a variação temporal das áreas dos fragmentos florestais e também a sua associação com as classes de declividade e solos.

Os trabalhos relacionados à interpretação do uso do solo de sub-bacias localizadas em áreas urbanas são mais recentes e necessitam de imagens de alta resolução espacial, como é o caso das fotografias aéreas. Segundo Mischita (1997), citado por Centeno et al. (2003), uma boa estimativa da taxa de permeabilidade do solo pode ser alcançada por meio da interpretação de fotografias aéreas restituídas. Na interpretação, as superfícies impermeáveis como telhados, ruas e estacionamentos pavimentados têm sido um indicador-chave para qualificar o uso do solo urbano e da água (ARNOLD & GIBBONS, 1996).

No presente trabalho elaboraram-se mapas de permeabilidade de uma sub-bacia localizada em área urbana, por meio de fotografias aéreas verticais (anos 1971, 1986 e 1999) com objetivo de interpretar e avaliar a ocorrência de superfícies permeáveis/impermeáveis no período estudado.

### MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é a sub-bacia do córrego Centenário, que se localiza na área urbana da cidade de

Lavras, MG, segundo as coordenadas UTM 499.472; 501.504 m E e 7.649.473, 7.852.793 m N, meridiano central 45° W. Gr.

A etapa inicial da entrada de dados no sistema de informação geográfica foi criar um banco que reuniu todos os dados de interesse da região estudada. O aplicativo utilizado foi o SPRING 4.1 (CÂMARA et al., 1996).

Para avaliar as classes de permeabilidade da superfície urbana foram utilizadas ortofotografias na escala 1:5.000 de 1999 e fotografias aéreas verticais nas escalas 1:30.000 e 1:25.000 dos anos de 1986 e 1971, respectivamente. A base cartográfica utilizada no trabalho foi o banco de dados da Prefeitura Municipal de Lavras, projeção UTM, datum SAD 69 contendo as ortofotografias e o mapa de quadras, necessários para estudo da sub-bacia. As fotografias aéreas verticais de 1986 e 1971 foram passadas no *scanner* e em seguida georreferenciadas. O limite da sub-bacia foi feito com auxílio da visão estereoscópica, em acetato, e em seguida transferido para o formato digital através do *scanner*.

A interpretação das classes de permeabilidade foi iniciada pela época mais recente (1999), sendo realizadas visitas a campo, em que foram identificados alguns padrões de assentamento urbano que são utilizados para edificação nos lotes. Estes padrões estão descritos e regulamentados pela lei municipal de Uso e Ocupação do Solo, que fornece diretrizes de como as edificações devem ocupar a malha urbana. Pela Figura 1, ilustra-se cinco tipos destes padrões que estão estipulados pela lei municipal.

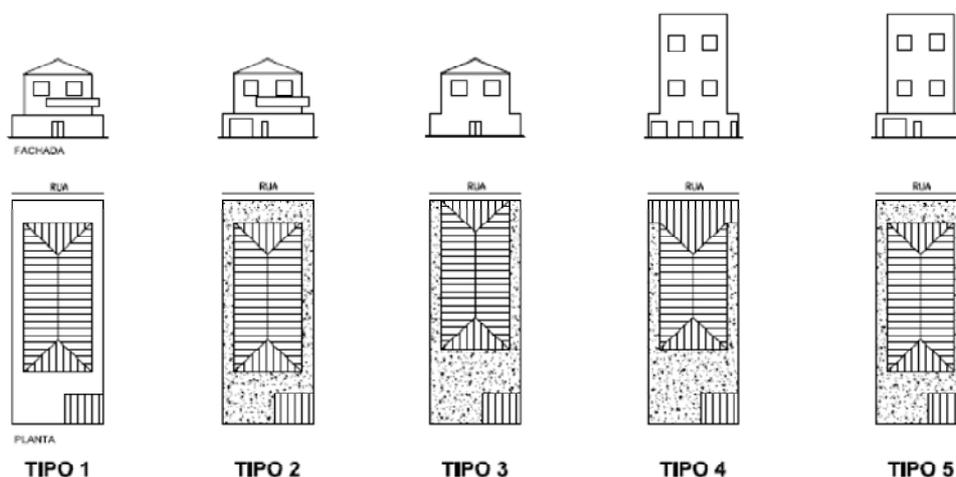


FIGURA 1 – Modelos de ocupação do solo na sub-bacia do Córrego Centenário.

**Tipo 1** - Uso residencial unifamiliar horizontal, ocupa-se 50% do lote com áreas impermeáveis, tendo ao redor da edificação áreas verdes e maior permeabilidade.

**Tipo 2** - Uso residencial unifamiliar horizontal, padrão da edificação igual do Tipo 1, ocupa-se o lote 70% com áreas impermeáveis. Ocupação mais antiga.

**Tipo 3** - Uso residencial unifamiliar vertical, ocupa-se 50% do lote com áreas impermeáveis. Recuo frontal não é utilizado como função arquitetônica, devido à ocupação mais antiga.

**Tipo 4** - Uso residencial multifamiliar/comercial vertical (lojas no térreo), com o terreno todo pavimentado. Prédios com até quatro pavimentos.

**Tipo 5** - Uso residencial multifamiliar vertical, com o terreno todo pavimentado. Recuo frontal é utilizado como função arquitetônica da residência. Prédios variando de quatro a seis pavimentos. Não apresentam pilotis.

Este estudo de Tipos de ocupação dos lotes foi comparado com as características dos quarteirões urbanos das fotografias aéreas, podendo definir, avaliar e quantificar a porcentagem da superfície do solo que está impermeável nestes, causado por fatores como telhados, áreas cimentadas e edificações.

As classes de permeabilidade da superfície urbana (área construída / pavimentada) são apresentadas na Tabela 1.

Na determinação das classes de permeabilidade por quarteirões, as fotografias aéreas foram analisadas, buscando-se identificar alvos que estivessem bem definidos nas três épocas e pudessem ser diferenciadas pela tonalidade, textura, padrão, forma, dimensão, sombra, cor e associações. Procurou-se identificar tudo que era visível, recorrendo a estes critérios de interpretação, sendo associada uma classe de permeabilidade ao quarteirão, de acordo com a porcentagem de áreas construída. A digitalização das classes de permeabilidade foi feita manualmente, *via mouse*, em tela.

**TABELA 1** – Classes de permeabilidade e a porcentagem de área construída e ou pavimentada por quarteirões, com suas respectivas cores.

Cor	Classes de permeabilidade	Área construída / Pavimentada (%)
Cinza Claro	Muito Permeável	0%
Linhas a 90°	Permeável	30%
Linhas Cruzadas a 45°	Pouco permeável	50%
Cinza Escuro	Impermeável	≥ 70%

Após a obtenção dos mapas temáticos de permeabilidade da superfície urbana, efetuou-se a medição e comparação das áreas das classes nas três épocas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As áreas das classes de permeabilidade da superfície urbana, nos anos de 1971, 1986 e 1999 da sub-bacia hidrográfica do córrego Centenário podem ser observadas na Tabela 2.

Pela tabela 2, pode ser observado que no ano de 1971, 56,41% da área total da sub-bacia pertencia à classe muito permeável. Nos anos de 1986 e 1999 os valores relativos a esta classe passaram para 40,24 e 16,69%. A redução nesses valores explica uma pavimentação e edificação nos quarteirões, sendo este aumento mais expressivo nas duas últimas épocas estudadas.

As classes permeável e muito permeável juntas representaram nos anos de 1971, 1986 e 1999, respectivamente, de 31,71%, 30,73% e 45,64% da área total. Estas áreas, em sua maioria, pertencem aos modelos de ocupação tipos 1 e 3 com até 50% de áreas permeáveis. A classe impermeável ocupava 11,88%, 29,02% e 37,68%, respectivamente, nos anos de 1971, 1986 e 1999.

**TABELA 2** – Área das classes de permeabilidade da superfície urbana da sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG, nos anos estudados.

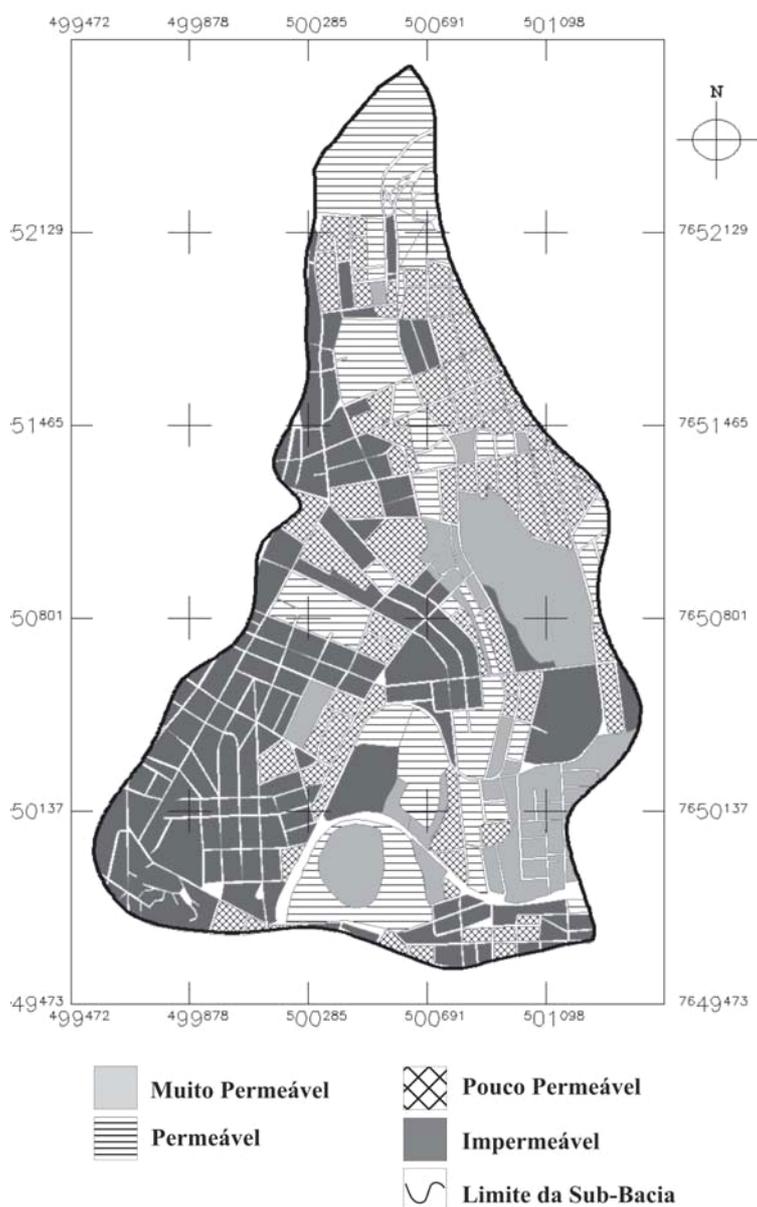
Permeabilidade	1971		1986		1999	
	ha	%	ha	%	ha	%
Muito permeável	148,65	56,41	106,04	40,24	43,99	16,69
Permeável	48,5	18,40	35,14	13,33	62,13	23,58
Pouco permeável	35,09	13,31	45,86	17,40	58,09	22,04
Impermeável	31,3	11,88	76,48	29,02	99,3	37,68
<b>Total</b>	<b>263,52</b>	<b>100,00</b>	<b>263,52</b>	<b>100,00</b>	<b>263,52</b>	<b>100,00</b>

De acordo com Schueler (1994), o meio ambiente já é considerado desgastado se possuir área impermeável maior que 10%. Deste modo, a sub-bacia já estava com desgaste superior a este valor (11,88%) no ano de 1971. É importante ressaltar que em 1999 a sub-bacia já possuía 37,68% de superfícies impermeáveis, ou seja, sem possibilidade de serem modificadas.

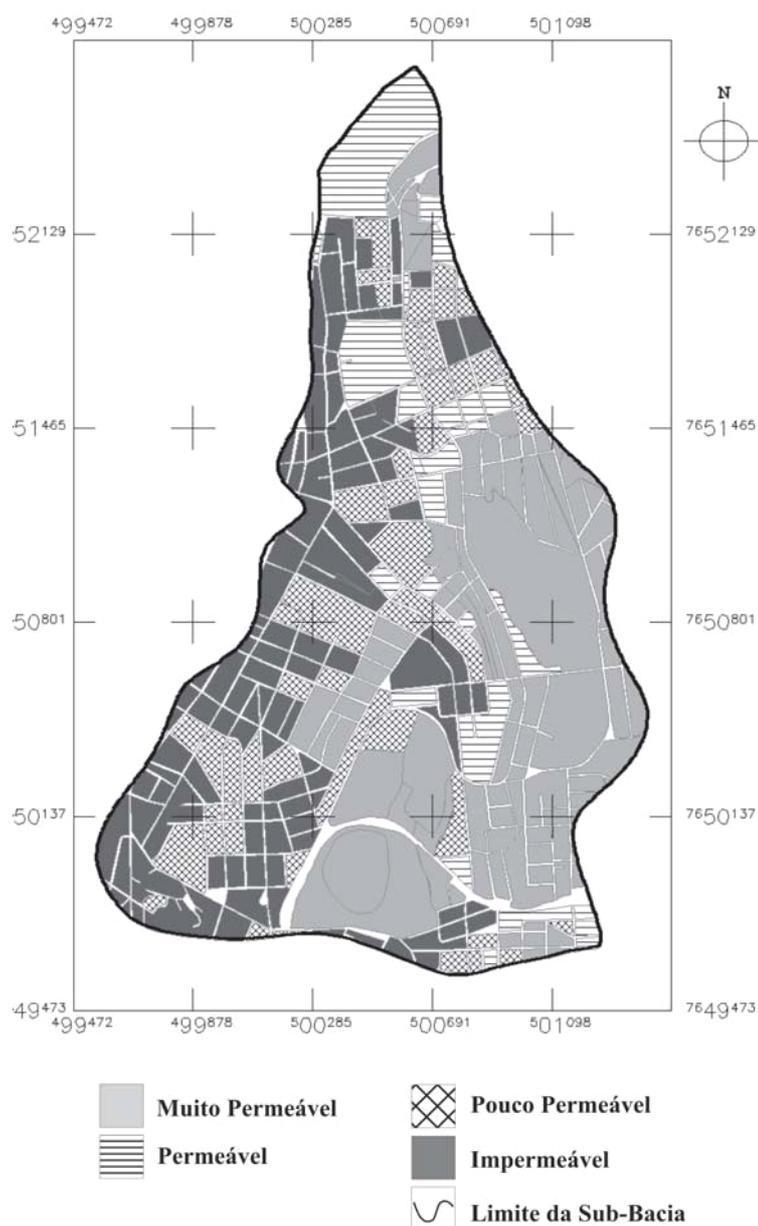
Pode-se observar que a ocupação, ao longo dos últimos treze anos (1986 a 1999), da porção oeste da sub-

bacia foi intensificada, aparecendo também novos loteamentos na parte leste. Nas visitas de campo pode-se notar que nas regiões com maiores impermeabilizações, o fluxo de pessoas e veículos já está sendo prejudicado porque as edificações estão muito próximas, com pouca área de ventilação e iluminação.

A distribuição das classes de permeabilidade que caracterizam a sub-bacia nos anos estudados são apresentadas nas Figuras 2, 3 e 4.



**FIGURA 2** – Mapa de permeabilidade da superfície urbana da sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG, ano de 1999.

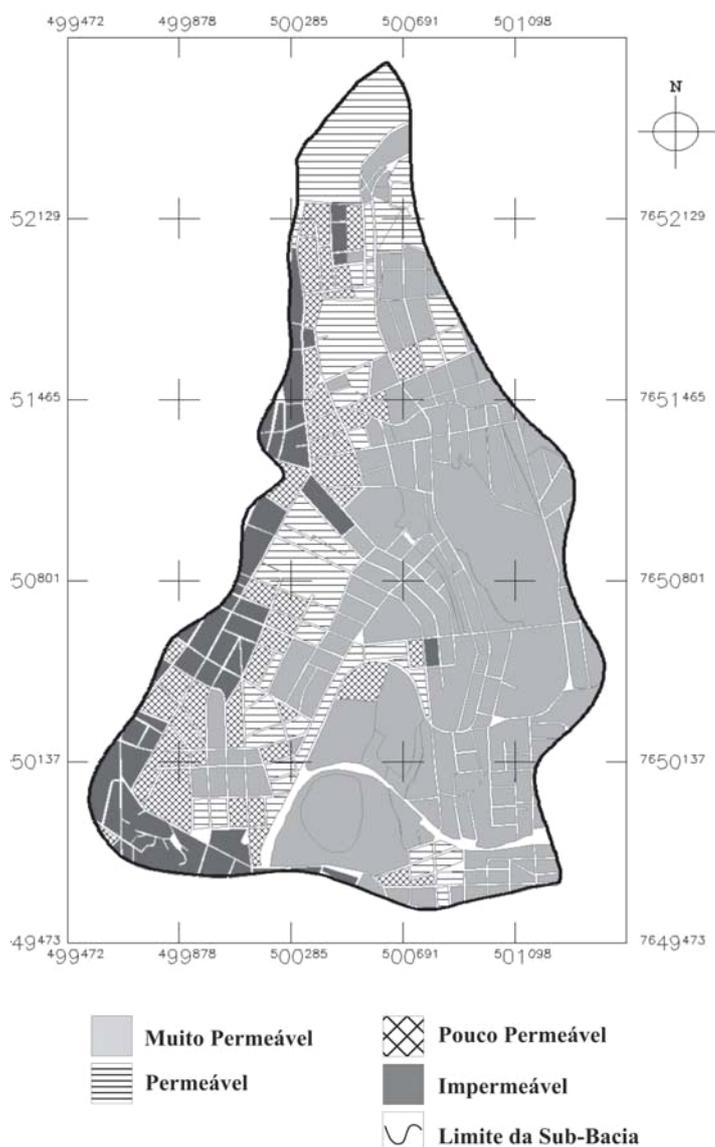


**FIGURA 3** – Mapa de permeabilidade da superfície urbana da sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG, ano de 1986.

O cruzamento dos dados contidos nos mapas de permeabilidade do ano de 1999 com o ano de 1986 (Figuras 2 e 3), do ano de 1999 com o ano de 1971 (Figuras 2 e 4), do ano 1986 com o ano de 1971 (Figuras 3 e 4) e das três épocas juntas, 1999 x 1986 x 1971, serviram para identificar como a permeabilidade da superfície do solo da sub-bacia se alterou nestas épocas. A tabulação cruzada dos mapas de

permeabilidade da superfície do solo entre os anos 1999 e 1986 está apresentada na Tabela 3.

A soma dos valores na diagonal (151,04 ha) representa 57,55% da área total (262,43 ha). Esse valor representa a porcentagem da área que foi tabulada como coincidente entre as duas épocas. Houve uma mudança de 42,45% nas classes de permeabilidade.



**FIGURA 4** – Mapa de permeabilidade da superfície urbana da sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG, ano de 1971.

**TABELA 3** – Resultado da tabulação cruzada dos anos 1999 com 1986.

<b>Tabela Cruzada 1999 x 1986</b>	<b>Perm.</b>	<b>Muito perm.</b>	<b>Pouco Perm.</b>	<b>Imperm.</b>	<b>Total 1999</b>
Muito Permeável	<b>43,67</b>	0,00	0,40	0,00	44,07
Permeável	26,50	<b>26,40</b>	9,04	0,00	61,94
Pouco permeável	20,82	3,63	<b>19,13</b>	14,24	57,82
Impermeável	14,65	4,90	17,21	<b>61,84</b>	98,60
<b>Total 1986</b>	105,64	34,93	45,78	76,08	<b>262,43</b>

Na Tabela 4, indicam-se as alterações sofridas em cada classe de permeabilidade nos anos de 1999 com 1986.

Os valores indicam que, na classe muito permeável, houve uma redução da área em porcentagem de 58,28%, entre as duas épocas, em relação ao ano de 1999. Para a classe permeável, em relação a 1999 houve um crescimento de 77,33% na área desta classe na sub-bacia urbana. Isto ocorreu porque a classe muito permeável foi transformada em outras classes. As classes pouco permeável e impermeável apresentaram um crescimento de 26,30% e 29,60%, indicando uma evolução menor, que

**TABELA 4** – Alteração da permeabilidade da superfície do solo entre os anos 1999 e 1986.

1999x1986	Diferença entre 1999x1986 (ha)	Diferença (%)
Muito Permeável	-61,57	-58,28%
Permeável	27,01	77,33%
Pouco permeável	12,04	26,30%
Impermeável	22,52	29,60%

está associada ao adensamento destas classes dentro da malha urbana.

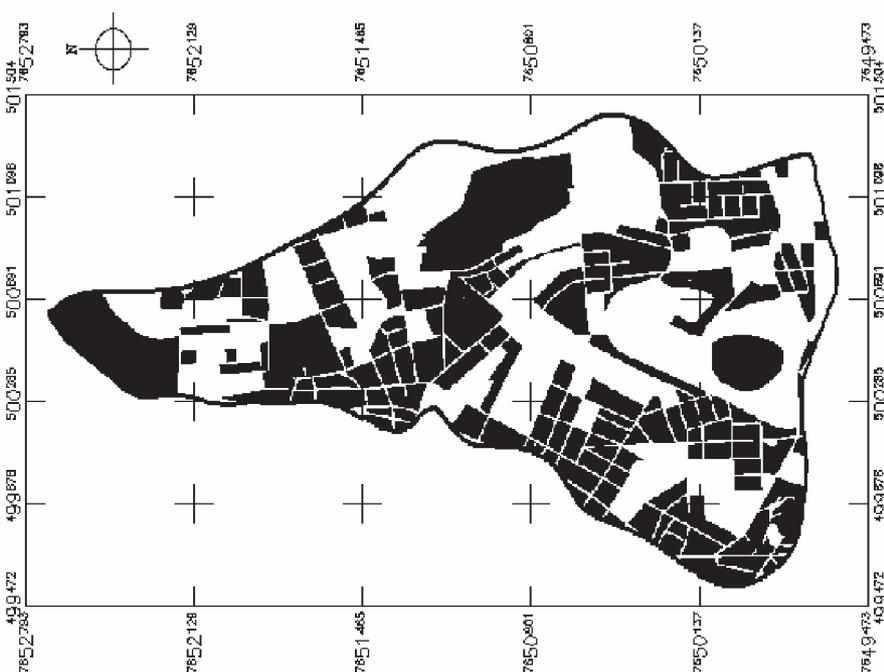
Na Figura 5, podem ser observadas as regiões coincidentes entre as classes dos anos de 1999 com 1986.

Os cruzamentos dos mapas entre os anos de 1999 e 1971 estão apresentados na Tabela 5.

Os valores da diagonal da Tabela 5, que correspondem às áreas de classes coincidentes, somam 106,03 ha, que representam 40,26% da área total da sub-bacia. Portanto, considerando-se todas as classes, pode-se concluir que houve uma mudança de 59,75% nos usos entre os anos 1999 e 1971.

Os resultados da comparação das áreas, por classe de permeabilidade, estão expressos na Tabela 6. Nessa Tabela pode ser observado, em hectare e porcentagem, quanto foi a alteração sofrida em 28 anos de uso e ocupação.

Os valores da Tabela 6 mostram que a classe muito permeável reduziu sua área em 70,40% entre os anos de 1999 a 1971. A classe impermeável apresentou um aumento de 217,37% da sua área, tornando a superfície do solo urbano mais impermeável. As classes muito permeável e pouco permeável tiveram um aumento de 28,67% e 65,73%, respectivamente, mostrando a mudança das classes de permeabilidade dentro da sub-bacia.



**FIGURA 5** – Regiões, entre os anos de 1999 com 1986, nas quais houve coincidências entre as classes de permeabilidade da superfície do solo da sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

Na Figura 6 apresenta-se a localização das áreas coincidentes entre as classes dos anos de 1999 com 1971.

Os dados obtidos no cruzamento dos anos 1986 e 1971 estão apresentados na Tabela 7.

Os valores na diagonal somados representam 62,88% da área total, que foi tabulada como coincidente entre as duas épocas. Este valor indica que houve uma mudança de 37,12% nas classes de permeabilidade.

Na Tabela 8 pode ser observado quanto cada classe de permeabilidade foi alterada entre o ano de 1986 e 1971.

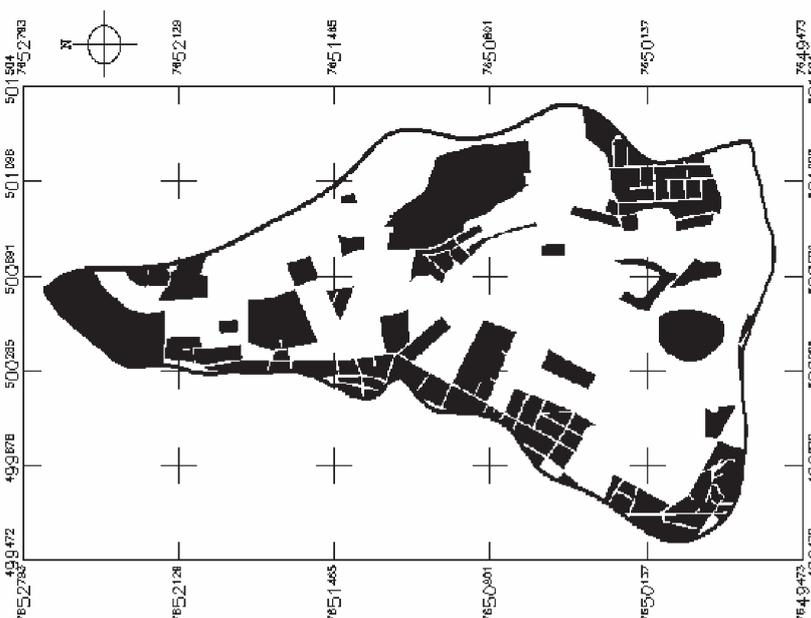
Na diferença dos anos de 1986 e 1971, verificou-se que as classes muito permeável e permeável tiveram uma redução da área de 28,75% e 27,49%, respectivamente. Isto ocorreu porque a classe impermeável cresceu 144,85%, mostrando que, neste intervalo, a cidade cresceu nas áreas

**TABELA 5** – Resultado da tabulação cruzada dos anos 1999 com 1971.

<b>Tabela cruzada 1999x1971</b>	<b>Perm.</b>	<b>Muito perm.</b>	<b>Pouco perm.</b>	<b>Imperm</b>	<b>Total 1999</b>
Muito Permeável	<b>43,63</b>	0,40	0,00	0,00	44,03
Permeável	33,57	<b>25,82</b>	2,82	0,00	62,21
Pouco permeável	36,65	10,96	<b>7,92</b>	2,56	58,09
Impermeável	34,90	11,17	24,31	<b>28,64</b>	99,02
Total 1971	148,75	48,35	35,05	31,20	<b>263,35</b>

**TABELA 6** – Alteração da permeabilidade entre os anos 1999 e 1971.

<b>1999x1971</b>	<b>Diferença entre 1999x1971 (ha)</b>	<b>Diferença (%)</b>
Muito Permeável	-104,72	-70,40%
Permeável	13,86	28,67%
Pouco permeável	23,04	65,73%
Impermeável	67,82	217,37%



**FIGURA 6** – Regiões, entre os anos de 1999 com 1971, nas quais houve coincidências entre as classes de permeabilidade da superfície do solo da sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

que possuíam urbanização. As áreas coincidentes entre as classes dos anos de 1986 com 1971 estão apresentadas na Figura 7.

Na Figura 8, mostra-se o cruzamento de todos os anos estudados. Estas áreas podem pertencer a qualquer uma das classes, porém foram as que não sofreram nenhum processo de mudança ao longo dos anos

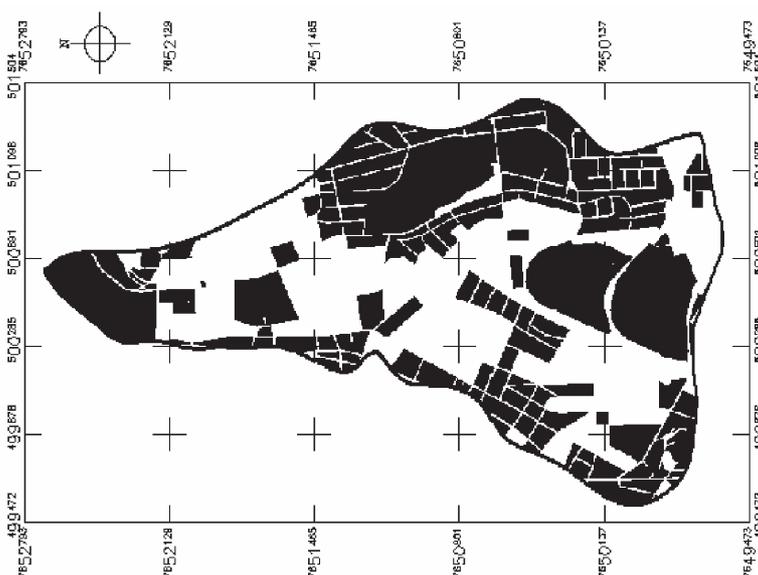
estudados. O aumento das superfícies impermeáveis ocorreu nas áreas em branco, estando estas regiões localizadas mais próximas do córrego. Se na atualidade ainda não há ocorrência de muitas enchentes nesta sub-bacia ressalta-se a importância de no Plano Diretor Municipal ser contemplado a preservação das superfícies permeáveis.

**TABELA 7** – Resultado da tabulação cruzada dos anos 1986 com 1971.

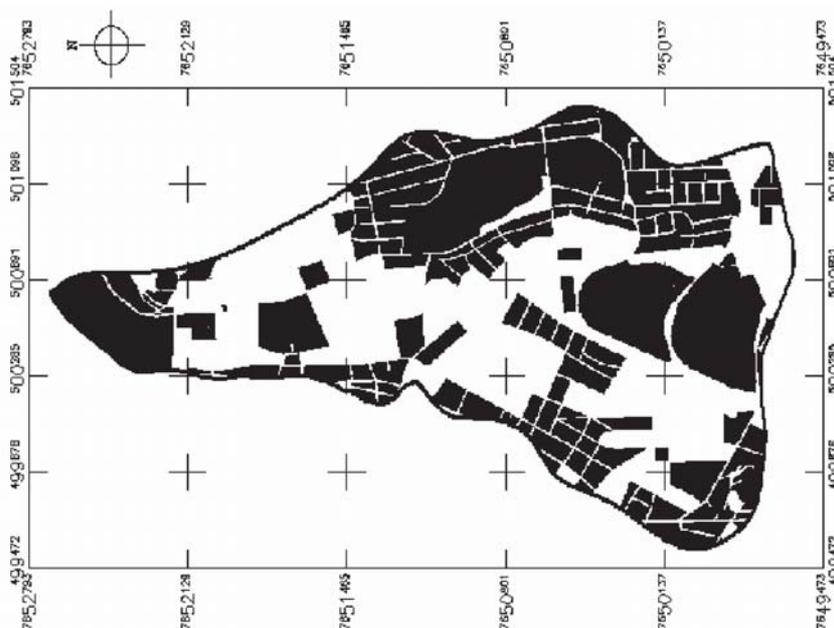
<b>Tabela cruzada 1986x1971</b>	<b>Perm.</b>	<b>Muito perm.</b>	<b>Pouco perm.</b>	<b>Imperm</b>	<b>Total 1986</b>
Muito Permeável	<b>103,18</b>	2,33	0,00	0,00	105,51
Permeável	15,37	<b>19,60</b>	0,00	0,00	34,97
Pouco permeável	20,17	11,85	<b>12,43</b>	1,33	45,78
Impermeável	9,37	14,45	22,50	<b>29,73</b>	76,05
Total 1971	148,09	48,23	34,93	31,06	<b>262,31</b>

**TABELA 8** – Alteração da permeabilidade entre os anos 1986 e 1971.

<b>1986x1971</b>	<b>Diferença entre 1986x1971 (ha)</b>	<b>Diferença (%)</b>
Muito Permeável	-42,58	-28,75%
Permeável	-13,26	-27,49%
Pouco permeável	10,85	31,06%
Impermeável	44,99	144,85%



**FIGURA 7** – Regiões, entre os anos de 1986 com 1971, nas quais houve coincidências entre as classes de permeabilidade da superfície do solo da sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.



**FIGURA 8** – Regiões, entre os anos de 1999 com 1986 com 1971, nas quais houve coincidências entre as classes de permeabilidade da superfície do solo da sub-bacia do córrego Centenário, Lavras, MG.

### CONCLUSÕES

O estudo de superfícies permeáveis/impermeáveis em bairros, utilizando fotografias aéreas e SIG, mostrou-se eficiente para avaliar a ocorrência e distribuição destas superfícies na sub-bacia, no período estudado.

A urbanização foi o principal fator que determinou as mudanças de superfícies permeáveis para impermeáveis na sub-bacia. Neste sentido, salienta-se a importância de um Plano Diretor Municipal que contemple o monitoramento e a conservação das superfícies permeáveis, para garantir um fluxo de escoamento adequado para o Córrego Centenário.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARNOLD, C.; GIBBONS, C. J. Impervious surface coverage: the emergence of a key environmental indicator. **Journal of the American Planning Association**, [S.l.], 1996. Disponível em: <<http://www.planning.org/abstracts/details.asp?Num=1632>>. Acesso em: 15 jul. 2004.
- CAMARA, G. et al. Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Spring**, [S.l.], v. 3, p. 395-403, May/June 1996.
- 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**, Curitiba, v. 55, n. 1, p. 48-56, 2003.
- DEGANUTTI, R.; BARROS, Z. X. de. Mapeamento da cobertura vegetal por imagens aéreas das fazendas Lageado e Edgardia, Botucatu, SP, nos anos de 1962, 1985 e 1998. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 16, n. 4, 2001.
- DOZENA, A. **São Carlos e seu “desenvolvimento”**: contradições urbanas de um pólo tecnológico. 2001. 160 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- JORGE, L. A. B.; SARTORI, M. S. Uso do solo e análise temporal da ocorrência de vegetação natural na fazenda experimental Edgardia, em Botucatu, SP. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 5, 2002.
- SCHUELER, T. R. The importance of imperviousness. **Watershed Protection Techniques**, [S.l.], v. 1, n. 3, p. 100-111, 1994.
- TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 61-68, 2000.