

APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE FREQUÊNCIAS NO ESTUDO DE PADRÕES DE OCUPAÇÃO EM BACIAS URBANAS

Sílvia Luís Rafaeli Neto¹

RESUMO

O planejamento urbano no Brasil tradicionalmente incorpora uma visão não hidrológica e não ambiental no traçado das cidades. Uma das consequências é a alteração do regime hidrológico nas bacias urbanas e ocorrência de desastres por inundações. Aumentar a área permeável no entorno dos canais poderia contribuir para mitigar os efeitos de tais eventos. Este trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento espacial da ocupação em bacias urbanas. O método utilizado foi a análise de frequência de edificações em relação aos talwegues e respectivas faixas de entorno. Foram analisadas três bacias hidrográficas contíguas submetidas a diferentes padrões de ocupação urbana. Os resultados apontaram padrões de ocupação distintos nas três bacias avaliadas.

Palavras-chave: Ocupação Urbana, Bacia Hidrográfica, Talwegue, Enfoque Sistêmico, Sistema De Informação Geográfica.

ABSTRACT

Urban Planning in Brazil traditionally incorporates a non-hydrological and non-environmental view on the layout of the cities. One consequence is the change of hydrological behavior of the watersheds and urban disasters from flooding. Increase the permeable area in the vicinity of the channels could contribute to mitigate the effects of such events. This study aimed to evaluate the spatial behavior of the occupation in urban watersheds. The method used was a frequency analysis of buildings in relation to watercourses and their bands around. We analyzed three contiguous watersheds under different patterns of urban settlement. The results showed distinct patterns of occupation in three areas evaluated.

Keywords: Occupation Urban Catchment, Thalweg, Systemic Approach, Geographical Information System.

1 INTRODUÇÃO

Talwegues urbanos são linhas de encontro de vertentes do relevo que representam o caminho natural de escoamento das águas de superfície. O padrão geomorfológico destas entidades tenderia a influenciar o padrão da ocupação do espaço urbano em seus entornos, denominadas por alguns autores como zonas ripárias. Quando ocupadas, estas zonas perdem suas funções hidrológica, ecológica, de proteção estrutural dos canais e de retenção de sedimentos e alguns tipos de poluentes não pontuais (CARPENTER et al. 1998; GROFFMAN et al. 2003; PAUL & MEYER 2001), podendo tornar-se zonas de inundações frequentes. Estima-se que a impermeabilização do solo e a canalização dos rios urbanos provoquem aumento da vazão de cheia em cerca de sete vezes, assim como de sua frequência (TUCCI, 2008). O planejamento urbano seria um instrumento valioso no ordenamento territorial o que, quando ausente ou ineficaz, pode levar a graves perigos no ambiente urbano, em consequência de desastres naturais, com perdas de vidas e de patrimônio (NYAMBOD,

¹ Professor Dr. do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Av. Luiz de Camões, 2090 – Lages - SC – Bairro Conta Dinheiro, CEP 88.520-000 - Telefone (0xx49) 2101-9100. Email: a2sn@cav.udesc.br

2010). A implantação de zonas ripárias urbanas poderia minimizar os impactos ambientais do desenvolvimento e melhorar a qualidade de vida nas cidades.

Este trabalho teve por objetivo inferir avaliar o comportamento espacial da ocupação em bacias urbanas através da análise de frequência das edificações. Esta técnica, apresentada sob o enfoque sistêmico, possibilitaria o entendimento da dinâmica das cidades e sua relação com os eventos hidrológicos e os desastres a eles associados.

2 ÁREA DE ESTUDO

Um estudo de caso foi realizado sobre o sistema urbano da cidade de Lages. A cidade está situada no Planalto Sul de Santa Catarina, na posição média de 27° 49' de latitude sul e 50° 20' de longitude oeste. Sua altitude média é de 940 m e seu núcleo urbano principal compreende cerca de 88km² (Figura 1). O clima da região é classificado como Cfb, do tipo mesotérmico, úmido com verão fresco. Nesta região, predominam cambissolos, glei húmicos e litossolos. Os cambissolos se caracterizam por apresentar acentuada variação de profundidade, ocorrendo desde rasos a profundos, e sua drenagem varia de acentuada a imperfeita (SANTOS, 2010). Estes solos predominam próximos aos talwegues, enquanto os litossolos, típicos das encostas, são solos rasos, com horizonte A assentado diretamente sobre a matriz. Os gleissolos são solos hidromórficos característicos de áreas alagadas ou sujeitas a alagamento.

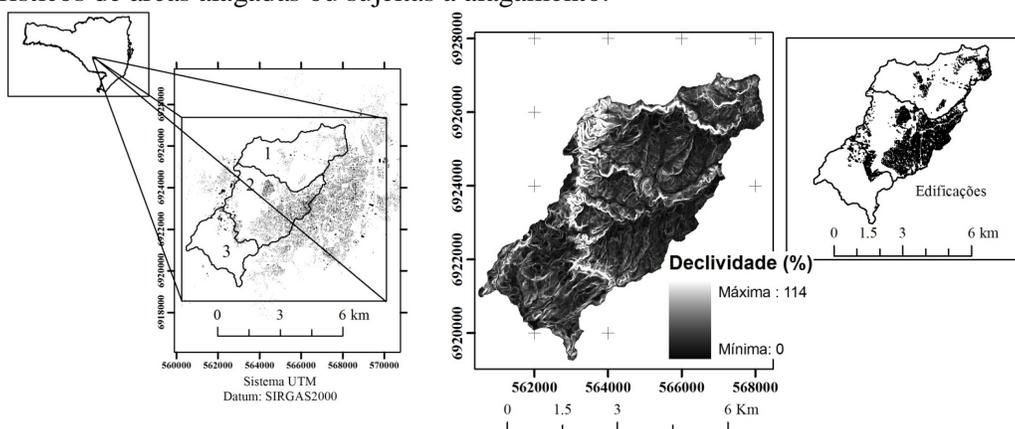


Figura 1 – Posição da mancha urbana urbana marcada pelas edificações em relação às bacias hidrográficas 1, 2 e 3 utilizadas no estudo (situação em maio de 2003).

3 ANÁLISE DE FREQUÊNCIAS

A metodologia consistiu em avaliar o comportamento do sistema urbano, utilizando como técnica a análise de frequências de seus componentes. As frequências foram medidas em diferentes faixas, delimitadas por operações de buffers em um SIG, tendo como referência espacial os talwegues.

O conjunto das bacias hidrográficas selecionadas deveria: a) representar diferentes densidades de urbanização; b) representar diferentes padrões de ocupação; c) representar o gradiente urbano-rural; d) minimizar as diferenças em termos de características geológicas e possíveis variações entre os padrões espaciais de drenagem; e) apresentarem redes hidrográficas independentes.

As faixas ou zonas de entorno a partir dos talwegues foram geradas no SIG por meio de operações de *buffers*, adotando-se as distâncias de 10 em 10m até 100m e também as faixas específicas de 5m, 150m e de 200m (Figura 1). Estas faixas foram escolhidas tomando-se por

referência os parâmetros definidos no Código Florestal brasileiro (BRASIL, 1965) e na Lei de Parcelamento do Solo Urbano (BRASIL, 1979).

As edificações representaram os componentes morfológicos do sistema urbano e os talwegues as componentes morfológicas do sistema hidrológico. As freqüências das edificações foram medidas nas faixas de entorno dos talwegues. Visando eliminar a auto-correlação existente quando se medem freqüências nas faixas acumuladas, as freqüências também foram medidas nas entre-faixas de entorno dos talwegues. Foram computadas as edificações inseridas, parcial ou totalmente; nas entre-faixas os valores foram obtidos por diferença entre os valores absolutos acumulados entre faixas adjacentes.



Figura 2 – Edificações nas faixas de entorno até 10m, 20m, 30, 50m e 100m na bacia 2.

As freqüências foram avaliadas através dos seguintes parâmetros:

- a) Densidade de edificações (D_e): obtida nas entre-faixas, expressa o número de edificações (N_e) por unidade de área da entre-faixa (Equação 1).

$$D_{e_i} = \frac{N_{e_i}}{A_{ef_i}} \quad (1)$$

Na qual, i representa a i -ésima entre-faixa e A_{ef} a área da entre-faixa.

- b) Índice de ocupação urbana (I_{OU}): obtido nas entre-faixas, expressa a área total das edificações na entre-faixa (A_{ed}) por unidade de área da entre-faixa (Equação 2).

$$I_{OU_i} = \frac{A_{ed_i}}{A_{ef_i}} \quad (2)$$

O I_{OU} foi relacionado com o limite superior das classes de distâncias dos talwegues. Para cada bacia hidrográfica foi ajustado um modelo não linear, como meio de procurar estabelecer uma relação formal entre as distâncias das entre-faixas aos talwegues. Os modelos foram avaliados por análise dos vetores de resíduos (V) conforme os seguintes critérios:

- Condição de normalidade dos resíduos: foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk uma vez que é aplicável em situações em que o número de observações é pequeno (no caso presente $n=17$) e não necessita de agrupamento dos dados. Na avaliação de modelos, o nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) seria suficiente para as conclusões (BRAGA, 2005).
- Coefficiente de determinação (R^2): estabelece o grau de contribuição da variável X para a variável Y .
- Erro padrão (EP): expressa o desvio médio dos valores observados em relação à curva ajustada.
- Resíduo médio quadrático (RMQ): informa o resíduo médio da estimativa, sem considerar o número de parâmetros do modelo.

$$RMQ = \sqrt{\frac{v^T v}{n}} \quad (3)$$

e) Erro médio quadrático (EMQ): é um estimador que penaliza o número de parâmetros de um modelo, podendo também ser um indicador para escolha de modelos candidatos.

$$EMQ = \frac{v^T v}{n-p} \quad (4)$$

f) Erro de predição de Akaike (adaptado de BRAGA, 2005): o coeficiente de Akaike também penaliza o número de parâmetros, uma vez que seu aumento tende a fazer com que o modelo descreva erros aleatórios ou ruídos, ao invés dos relacionamentos entre as variáveis em estudo (overfitting). Quando se trata da escolha entre modelos candidatos de um mesmo fenômeno o melhor seria o que apresentasse o menor valor.

$$Akaike = \frac{v^T v(n+p)}{n(n-p)} \quad (5)$$

4 SISTEMA HIDROGRÁFICO

O padrão geomorfológico do sistema hidrográfico, representado pelos talwegues, revelou-se com uma distribuição espacial aleatória (Figura 3), com formas irregulares em direções variadas e com inserções em diversos ângulos, indicando resistência horizontal não uniforme do estrato à ação hídrica e efeito de rochas ígneas, características do padrão dendrítico (CHARLTON, 2008; HUGGETT, 2007). Estas ocorrências são típicas de derrames basálticos, em que as camadas superficiais nitólicas apresentam-se, em Lages, com drenagem moderada (SOUZA Jr et al., 2007).

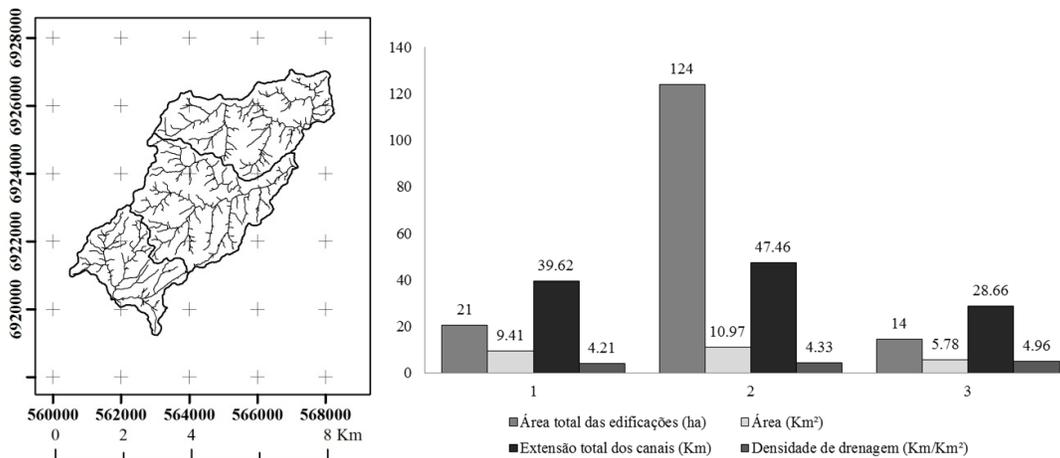


Figura 3 – Padrão geomorfológico dos talwegues das bacias 1, 2 e 3 e características físicas das bacias.

Do ordenamento dos talwegues resultou para a bacia 1 a ordem 9 e para as demais ordem 8. As densidades de drenagens das três bacias apresentaram-se equivalentes, apesar da distinção entre suas áreas e extensões totais dos respectivos talwegues (Figura 4 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**). As bacias 1 e 2 apresentam áreas semelhantes (9,41 km² e 10,97 km², respectivamente), mas área total das respectivas edificações bem distintas (21 km² e 124 km²).

5 SISTEMA URBANO

A distribuição geográfica das edificações, representantes do sistema urbano, apresentou-se distinto entre as bacias. Haveria uma tendência das edificações concentrarem-se nas regiões com menores declividades do terreno.

A bacia 2 comporta parte do núcleo central da cidade de Lages e apresenta poucas áreas livres de ocupação. Na bacia 1, a ocupação concentra-se nas áreas baixas da bacia, localizadas mais ao centro provavelmente devido haver, no limite norte, uma barreira física natural de relevo acentuado que inibiria a progressão urbana. Na bacia 3, representativa da franja periférica, a ocupação está posicionada ao norte da bacia.

A evolução do número alcançado de edificações pelas faixas de entorno, bem como de sua área total, sugere a existência de um padrão espacial nas três bacias avaliadas (Figura 5). Este padrão estaria relacionado com a distribuição espacial das edificações nas faixas de entorno e com o padrão de drenagem. A figura 6 ainda sugere a tendência da ocupação nas bacias menos antropizadas seguirem o padrão das mais antropizadas, no caso de não haver alterações no plano diretor da cidade nestas regiões.

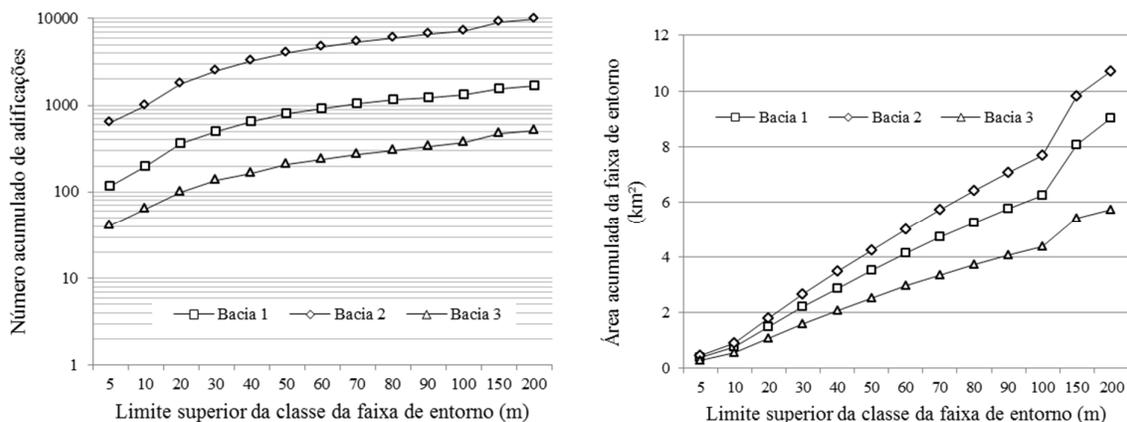


Figura 5– Evolução do número e da área de edificações nas faixas de entorno dos talwegues.

6 DENSIDADE DE EDIFICAÇÕES

Cerca de 50% das edificações até 200m mostraram-se localizadas até 50m dos talwegues na bacia 1, 60m na bacia 2 e 90m na bacia 3 (Figura 6).

As três bacias apresentaram D_e decrescentes a partir dos talwegues, nas entre-faixas de entorno. A D_e na entre-faixa de 5m foi significativamente alta na bacia 2. Enquanto na bacia 1 a tendência foi de queda gradativa na medida do afastamento dos talwegues, na bacia 3 a D_e se mostrou decrescente até a faixa de 50m e com uma tendência de aumento a partir daí.

A partir desta análise, depreende-se que o comportamento de expansão do sistema urbano estaria ocorrendo, na bacia 1, a partir dos talwegues, enquanto na bacia 3 seria na direção oposta, ou seja, da periferia das faixas na direção aos talwegues. O comportamento na bacia 3 estaria indicando um comportamento típico do sistema nas regiões caracterizadas como franjas urbanas, especialmente nas situações em que os planos diretores das cidades não prevêm a preservação das margens dos córregos ou rios.

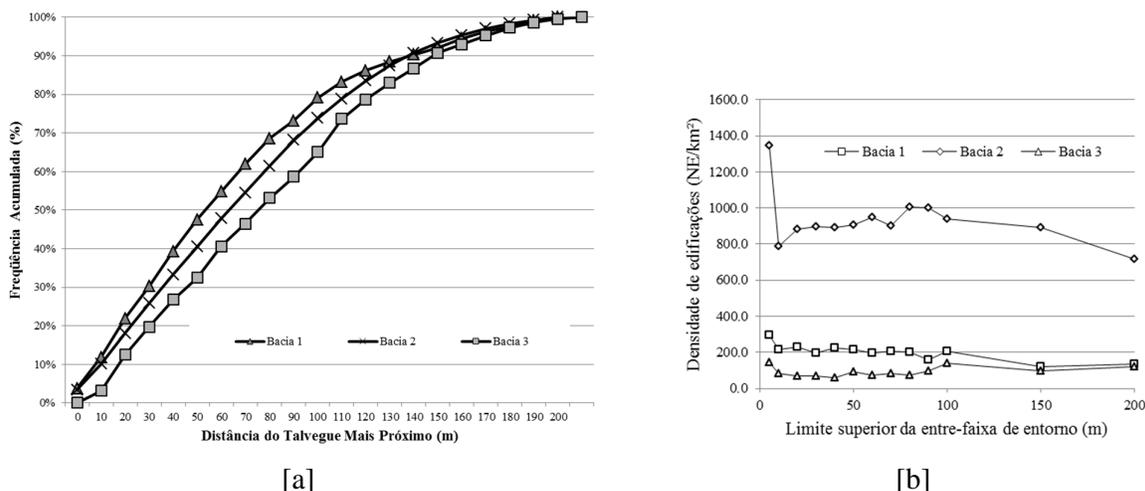


Figura 6 – Frequência acumulada das distâncias das edificações aos talvegues em um raio de busca de 200m nas bacias 1, 2 e 3 e Densidade de edificações nas entre-faixas de entorno das bacias 1, 2 e 3.

7 ÍNDICE DE OCUPAÇÃO

O índice médio de ocupação nas entre-faixas de entornos não diferiram entre as bacias 1 e 3 e foram significativamente superiores na bacia 2 (Tabela 1).

Tabela 1 – Estatísticas descritivas dos índices de ocupações nas entre-faixas de entornos das bacias 1, 2 e 3.

	Bacia 1	Bacia 2	Bacia 3
Média *	0.023 (a)	0.110 (b)	0.024 (a)
Erro padrão	0.002	0.005	0.002
Mediana	0.025	0.114	0.025
Desvio padrão	0.005	0.019	0.007
Curtose	-0.613	1.052	-0.606
Assimetria	-0.811	-1.312	-0.365
Intervalo	0.017	0.063	0.024
Mínimo	0.012	0.067	0.011
Máximo	0.029	0.129	0.035
Soma	0.293	1.426	0.314

* Médias seguidas com mesma letra não diferem entre si pelo teste t ao nível de 5%.

Apesar das médias serem estatisticamente não distintas, as bacias 1 e 3 apresentaram baixa correlação linear entre seus índices de ocupação (Tabela 2). Isto convalidaria a conclusão de que o sistema urbano em ambas apresentaria comportamento distinto.

Tabela 2 – Matriz de correlação entre os limites superiores das faixas de entornos e os índices de ocupação urbana.

	Bacia 1	Bacia 2	Bacia 3
Bacia 1	1		
Bacia 2	0.556	1	
Bacia 3	0.233	0.872	1

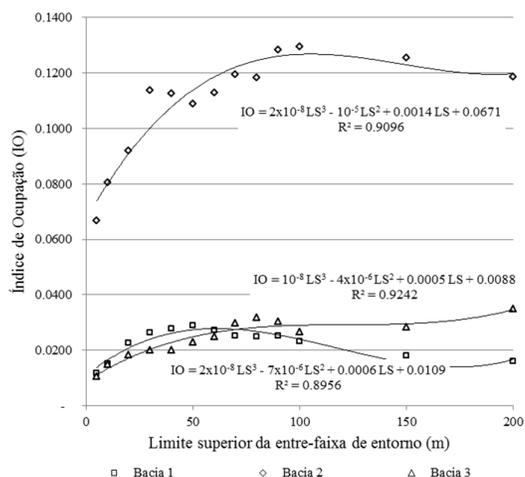


Figura 7 – Índice de ocupação urbana nas bacias 1, 2 e 3.

A variação dos índices de ocupação nas entre-faixas ajustaram-se a modelos polinomiais de 3ª. ordem (Figura 7), com R^2 altos e cujos resíduos dos valores ajustados (Tabela 3) atenderam à condição de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk (valor-p > 0,05).

A equivalência entre os coeficientes de Akaike e EMQs calculados para os modelos ajustados nas bacias, bem como os baixos valores encontrados para os RMQs indicam a boa qualidade do ajuste (Tabela 4).

Tabela 3 – Estatísticas descritivas dos resíduos dos modelos de Índice de ocupação nas bacias 1, 2 e 3.

	Bacia 1	Bacia 2	Bacia 3
Média	0.0021	0.0007	0.0005
Erro padrão	0.0007	0.0019	0.0007
Mediana	0.0025	0.0005	0.0009
Desvio padrão	0.0024	0.0068	0.0026
Curtose	0.4211	-0.6061	0.3370
Assimetria	0.3376	0.5186	0.6176
Intervalo	0.0090	0.0204	0.0093
Mínimo	-0.0018	-0.0072	-0.0031
Máximo	0.0072	0.0132	0.0062
Soma	0.0272	0.0093	0.0069
Shapiro-Wilk	0.893 (valor-p= 0.108)	0.956 (valor- p=0.686)	0.973 (valor- p=0.930)

Tabela 4 – Qualidade do ajuste dos modelos de Índice de Ocupação nas bacias 1, 2 e 3.

	Bacia 1	Bacia 2	Bacia 3
RMQ	0.0031	0.0066	0.0026
EMQ	9.8×10^{-06}	6.5×10^{-06}	4.3×10^{-05}
Akaike	0.9246	0.9298	0.9241

De acordo com os modelos das bacias 1 e 2, o I_{OU} aumenta na medida do afastamento dos talwegues, atingindo um máximo e diminuindo a partir daí, tendendo a uma estabilização. O

máximo ocorre em torno de 50m na bacia 1, por ser uma área pouco antropizada, e 100m na bacia 2, por conter parte do núcleo urbano principal da cidade. A provável estabilização indicada pelos modelos estaria relacionada com a dimensão da bacia e sua capacidade em comportar um número máximo de edificações, independentemente do aumento da faixa de entorno.

A exemplo do que ocorre com a evolução da densidade de edificações na bacia 3, o comportamento ascendente indicado pelo modelo nesta bacia estaria relacionado com a ocupação estar se dirigindo da periferia das faixas de entorno em direção aos seus talwegues. O modelo da bacia 3 estaria, portanto, indicando um provável comportamento típico do sistema urbano nas franjas urbanas.

8 CONCLUSÕES

Este trabalho procurou avaliar o antropismo urbano utilizando através da análise de freqüência de edificações em relação aos talwegues e respectivas faixas de entorno.

O comportamento de expansão do sistema urbano na bacia 1 estaria ocorrendo, predominantemente, dos talwegues em direção à periferia da bacia. Na bacia 3, este comportamento estaria ocorrendo de forma inversa. A bacia 2 foi a que apresentou os maiores índices de ocupação, explicados por incluir parte do núcleo urbano principal da cidade.

9 REFERÊNCIAS

- BRAGA, L. P. V. **Introdução à mineração de dados**. 2.ed. Rio de Janeiro: E-Papers Serviços Editoriais, 2005, 212p.
- BRASIL. **Lei nº. 4.771, de 15 de setembro de 1965**. Institui o novo Código Florestal. Brasília, D. F. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm. Acesso em 28/12/2010.
- BRASIL. **Lei nº. 6.766, de 19 de dezembro de 1979**. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras providências. Brasília, D. F. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6766.htm. Acesso em 28/12/2010.
- CARPENTER, S., CARACO, N. F., CORRELL, D. L. HOWARTH, R. W., SHARPLEY, A. N.; SMITH, V. H. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. **Ecological Applications**, v. 8, n.3, August 1998, 559-568.
- GROFFMAN, P. M.; BAIN, D. J.; BAND, L. E.; BELT, K. T.; BRUSH, G. S.; GROVE, J. M.; POUYAT, R. V.; YESILONIS, I. C.; ZIPPERER, W. C. Down by the riverside: urban riparian ecology. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 1, n. 6, August 2003, p. 315-321.
- HATT, B. E.; FLETCHER, T. D.; WALSH, C. J. TAYLOR, S. L. The influence of urban density and drainage infrastructure on the concentrations and loads of pollutants in small streams. **Environmental Management**, v. 34, n. 1, July 2004, p. 112-124.
- NYAMBOD, E. M. Environmental consequences of rapid urbanisation: bamenda city, cameroon. **Journal of Environmental Protection**, v. 1, n.1, March 2010, p. 15-23.
- PAUL, M. J.; MEYER, J. L. STREAMS IN THE URBAN LANDSCAPE. Streams in the urban landscape. **Annual Review of Ecology and Systematics**. November 2001. v. 32, p. 333-365.
- SANTOS, P. G. Capacidade de uso do solo em microbacia hidrográfica determinada por meio de atributos do solo e do ambiente, com auxílio de geoprocessamento. Lages: UDESC, 2010. 116p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade do Estado de Santa Catarina, 2010.
- TUCCI, CARLOS E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63. p. 97-112, 2008.