

# Análise do comportamento de sistemas urbanos por meio de componentes de sistemas hidrológicos

**Sílvio Luís Rafaeli Neto**

Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

**Marcos Tadeu Andrade Cordeiro**

Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

p. 142 – 155

Disponível em:

<http://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/99771>

## Como citar:

CORDEIRO, M. T. A.; RAFAELI NETO, S. L. Análise do comportamento de sistemas urbanos por meio de componentes de sistemas hidrológicos. *GEOUSP – Espaço e Tempo*, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 142 - 155, 2015.



Este artigo está licenciado sob a Creative Commons Attribution 4.0 License.

revista

**Geo**   
**USP**

espaço e tempo

Volume 19, nº 1 (2015)

ISSN 2179-0892

# Análise do comportamento de sistemas urbanos por meio de componentes de sistemas hidrológicos

---

## Resumo

Este trabalho apresenta a técnica de análise de frequências de edificações como instrumento formal de avaliação do comportamento de sistemas urbanos tomando como referência padrões espaciais de sistemas hidrológicos. A base conceitual do estudo é o enfoque sistêmico aplicado ao nível de bacias hidrográficas. Selecionaram-se três bacias representativas, contíguas e independentes. Os talvegues dessas bacias foram extraídos de um MDT na escala 1:2.000. A análise de frequências foi parametrizada pela densidade de edificações ( $D_e$ ) e pelo índice de ocupação urbana ( $I_{OU}$ ) em diversas faixas de entorno dos talvegues. O processo de ocupação urbana do espaço geográfico das três bacias revela padrões diferentes. Em duas delas, o  $I_{OU}$  foi estatisticamente semelhante.

**Palavras-chave:** Ocupação urbana. Bacia hidrográfica. Talvegue. Enfoque sistêmico. Sistema de informação geográfica.

---

## Urban systems behavior analysis through components of hydrological systems

---

### Abstract

This work presents the analysis technique of buildings frequency as a formal instrument for assessment of urban systems behavior, with reference to spatial patterns of hydrological systems. The conceptual basis of the study is grounded on the systemic approach applied on the level of river basins. Three representative, contiguous and independent basins were selected for the study. The watercourses of these basins were extracted from an MDT at 1:2.000 scale. The frequency analysis was parameterized by the Density of Buildings ( $D_e$ ) and Urban Occupation Index ( $I_{OU}$ ) in various bands around the watercourses. The urban occupation process of geographical space of the three basins reveals distinct patterns. In two basins the  $I_{OU}$  was statistically similar.

**Keywords:** Urban occupation. Watershed. Watercourse. Talweg. System approach. Geographic information system.

---

## Introdução

O planejamento urbano é um instrumento valioso no ordenamento territorial e, quando não existe ou é ineficaz, pode sujeitar o ambiente urbano a desastres naturais (Nyambod, 2010), determinados a partir da relação entre o homem e a natureza (Kobiyama et al., 2006). No Brasil, o processo de desenvolvimento urbano das cidades trata a questão ambiental de forma generalista e burocrática (Zeihofner; Miranda, 2012). Os autores propõem a quebra deste paradigma com a adoção da bacia hidrográfica como unidade de gestão do espaço urbano, considerando-se a sinergia da ocupação com a rede hidrográfica, com a paisagem do ambiente natural e o com substrato físico local.

As zonas ripárias, quando ocupadas, perdem suas funções hidrológica, ecológica, de proteção estrutural dos canais e de retenção de sedimentos e de alguns tipos de poluentes não pontuais (Carpenter et al., 1998; Groffman et al., 2003; Paul; Meyer, 2001), podendo tornar-se zonas de inundação. Estima-se que a impermeabilização do solo e a canalização dos rios urbanos provoquem aumento da vazão de cheia em cerca de sete vezes, bem como aumento de sua frequência (Tucci, 2008). Essas zonas estão associadas aos talwegues, os quais são estruturas do relevo modeladas por processos erosivos do solo. Os talwegues são linhas de encontro de vertentes do relevo para onde convergem as águas resultantes do escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo lateral, responsáveis pela manutenção das vazões nos rios. Seu padrão geomorfológico depende das características do solo, e do seu substrato, e define o padrão da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica. O processo de ocupação do solo nas cidades tende, portanto, a ser influenciado pelo relevo, especialmente pela inclinação das vertentes e pelo padrão dos talwegues.

Se por um lado os talwegues representam elementos de natureza estática de um sistema hidrológico, considerando sua alteração estrutural em escala milenar, a ocupação urbana apresenta um comportamento dinâmico do sistema urbano, associado e dependente do primeiro.

No enfoque sistêmico, o mundo real é observado como um conjunto de componentes hierarquicamente estruturados, sejam estes elementos naturais ou feitos pelo homem (Simon, 1990). Os sistemas urbanos e os sistemas hidrológicos são sistemas geográficos (Rafaeli Neto, 2000), constituídos de um subsistema morfológico conexo a um subsistema em cascata (Chorley; Kennedy, 1971). O primeiro representa os elementos estáticos reconhecíveis da realidade física. O segundo representa a dinâmica do fluxo de massa ou energia do sistema. Nesta abordagem, os talwegues seriam componentes morfológicos que, pela ação erosiva hidrodinâmica da água em cascata sobre o extrato geológico, assumem determinados padrões lineares. A propriedade de conformação dos componentes morfológicos do relevo, representados pelos talwegues, é modelada pela propriedade de comportamento do sistema hidrológico, representada pelo fluxo da água (Rafaeli Neto, 1994).

Técnicas de estatística espacial tais como análise de padrões, mapeamento de clusters e medidas de distribuição geográfica ou de proximidade, descrevem padrões espaciais de classes de entidades geográficas, comumente representadas e tratadas em sistemas de informações geográficas (SIG) por geo-objetos do tipo polígono (p.e., edificação), ponto (p.e., incidência de crime) ou linha (p.e., via) ou por geocampos do tipo grade (p.e., MDE), entre outros. De sua aplicação, resultam tabelas, coeficientes ou gráficos descritivos do conjunto de geo-objetos, possibilitando ao analista diagnosticar seu estado. No enfoque sistêmicos, essas técnicas são aplicadas em elementos do subsistema morfológico. Em caso de uma análise temporal, é necessário o mapeamento periódico deste sistema. Por esta razão, considera-se que estas técnicas são insuficientes ou limitadas quando se

deseja compreender o comportamento de sistemas urbanos, considerando sua natureza dinâmica. Este trabalho tem por objetivo geral apresentar a técnica de análise de frequências de edificações como instrumento formal de avaliação do comportamento de sistemas urbanos, tendo como referência padrões espaciais de sistemas hidrológicos. Os objetivos específicos foram: a) avaliar o índice de ocupação urbana em três bacias representativas na cidade de Lages-SC; b) avaliar o padrão do processo de ocupação urbana do espaço geográfico das três bacias.

## Material e métodos

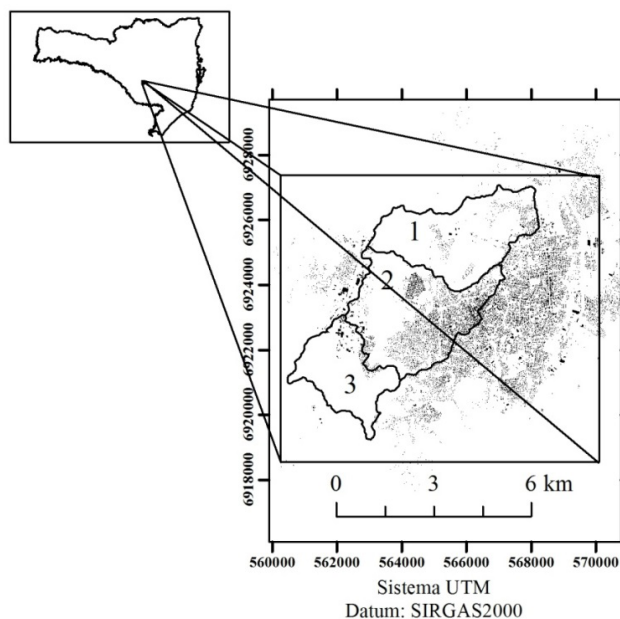
### Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado sobre o sistema urbano da cidade de Lages-SC. 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 88 km<sup>2</sup>. O clima da região é classificado como Cfb, do tipo mesotérmico, úmido com verão fresco. Nesta região, predominam cambissolos, glei húmicos e nitossolos. 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). Esses solos predominam próximos aos talwegues, enquanto os nitossolos, 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.

### Subsistemas morfológicos

Os subsistemas morfológicos utilizados no estudo foram representados em um SIG pelas classes *edificação*, *bacia hidrográfica* e *talvegue*. Os geo-objetos do tipo polígono da classe *edificação* representam os componentes morfológicos do sistema urbano (Figura 1); os geo-objetos do tipo polígono da classe *bacia hidrográfica* e do tipo linha da classe *talvegue*, representam os componentes morfológicos do sistema hidrológico.

**Figura 1 – Posição da mancha urbana assinalada pelas edificações em relação às bacias hidrográficas 1, 2 e 3 (situação em maio de 2003)**



A classe *edificação* foi constituída a partir de uma base cartográfica 1:2.000. A classe *bacia hidrográfica* foi constituída por três bacias urbanas (Figura 1). A escolha destas bacias para o estudo foi realizada tendo como base os critérios de Hatt et al. (2004). Assim sendo, para que as bacias hidrográficas situadas no perímetro urbano de Lages fossem selecionadas para o estudo, seu conjunto deveria atender aos seguintes critérios: (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.

Os talwegues da classe *talvegue* foram obtidos de um modelo digital de terreno hidrologicamente consistente (MDTHC) (Ribeiro et al., 2005). O MDTHC com 5 m de resolução de grade foi construído no SIG a partir de curvas de nível equidistantes de 1 m e de pontos cotados. Os talwegues de ordem igual ou superior a 5 (Strahler, 1975) foram selecionados por representarem a menor ordem de canais correspondente na base cartográfica original.

### Faixas de entorno dos talwegues

As frequências de edificações foram avaliadas nas faixas ou zonas de entorno dos talwegues. As faixas foram geradas no SIG por meio de operações de *buffers*, adotando-se as distâncias de 10 em 10 m até 100 m, e também as faixas específicas de 5 m, 150 m e de 200 m (Figura 2). 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).

**Figura 2 – Extrato da base de dados ilustrando geo-objetos da classe *edificação* nas faixas de entorno de geo-objetos da classe *talvegue*, nas distâncias de 10 m, 20 m, 30 m, 50 m e 100 m na bacia 2**



## Parâmetros de frequências

As frequências foram parametrizadas pela densidade de edificações ( $D_e$ ) e pelo índice de ocupação urbana ( $I_{OU}$ ). O número de edificações inseridas, total ou parcialmente, na faixa de domínio, foi computado a partir do talvegue. Visando eliminar a autocorrelação existente quando se medem os parâmetros nas faixas acumuladas, estes também foram medidos nas entrefaixas de entorno dos talvegues. Nelas, calculou-se a diferença entre os valores absolutos acumulados entre faixas adjacentes. A  $D_e$  foi obtida nas entrefaixas e expressa o número de edificações ( $N_e$ ) por unidade de área (equação 1).

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

Onde  $i$  representa a  $i$ -ésima entrefaixa e  $A_{ef}$ , sua área.

O  $I_{OU}$  foi obtido também nas entrefaixas e expressa a área total das edificações na entrefaixa ( $A_{ed}$ ) por unidade de área da entrefaixa (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 talvegues, para efeito de análise. Essa relação foi estabelecida por bacia hidrográfica, em que foi ajustado um modelo não linear, como meio de procurar estabelecer uma relação formal entre o  $I_{OU}$  e as distâncias das entrefaixas aos talvegues. Os modelos foram avaliados por análise dos vetores de resíduos ( $V$ ) conforme os seguintes critérios:

a) 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).

b) Coeficiente de determinação ( $R^2$ ): estabelece o grau de contribuição da variável  $X$  para a variável  $Y$ .

c) Erro padrão (EP): expressa o desvio médio dos valores observados em relação à curva ajustada.

d) 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 a representar uma relação de variáveis.

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

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.

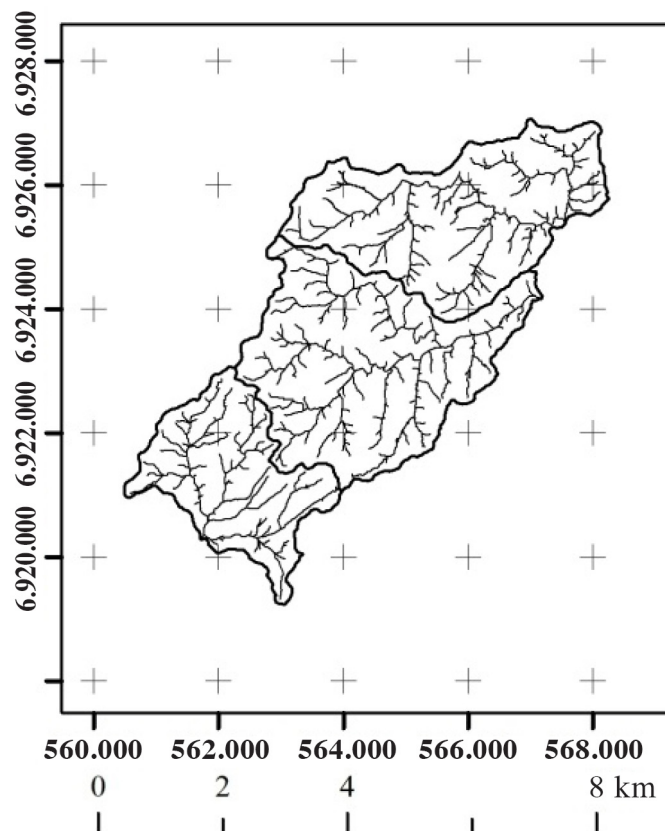
$$\text{Akaike} = \frac{V^T V (n + p)}{n (n - p)} \quad (5)$$

## Resultados e discussão

### Sistema hidrográfico

O padrão geomorfológico do subsistema morfológico 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 et al., 2007).

**Figura 3 – Padrão geomorfológico dendrítico dos talwegues das bacias 1, 2 e 3**

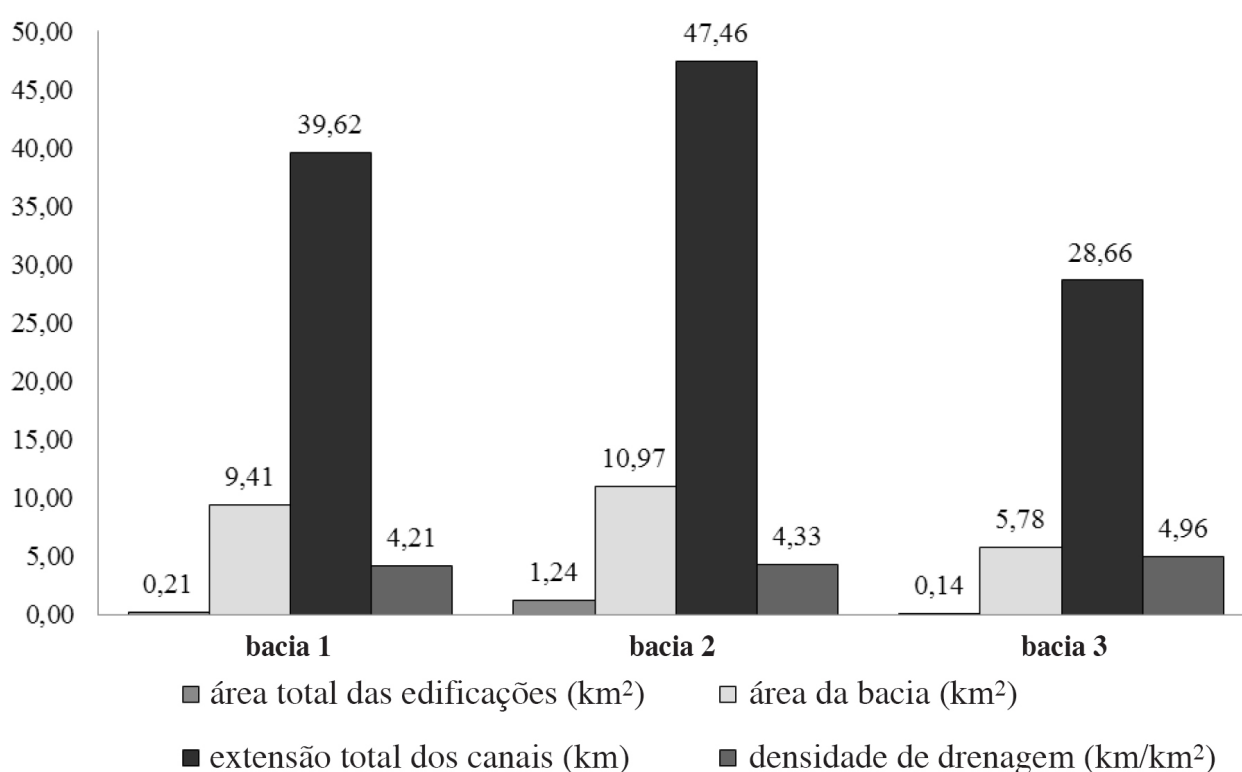


Do ordenamento dos talwegues, resultaram, para a bacia 1, a ordem 9 e, para as demais, a ordem 8.

## Caracterização das bacias hidrográficas

O gráfico da Figura 4 mostra que as três bacias possuem densidades de drenagens equivalentes (4,21 km/km<sup>2</sup>, 4,33 km/km<sup>2</sup> e 4,96 km/km<sup>2</sup>), apesar da distinção entre suas áreas e extensões totais dos respectivos talvegues. De acordo com o gráfico, as bacias 1 e 2 apresentam áreas de bacia semelhantes (9,41 km<sup>2</sup> e 10,97 km<sup>2</sup>, respectivamente), mas área total das respectivas edificações bem distintas (0,21 km<sup>2</sup> e 1,24 km<sup>2</sup>). A bacia 3 é a que apresenta a menor área de bacia (5,78 km<sup>2</sup>) e menor área de edificações em seu interior (0,14 km<sup>2</sup>). Apesar de a bacia 1 ser 1,62 vez maior que a bacia 3, seus índices de ocupação territorial são semelhantes (0,022 e 0,024, respectivamente), mas cerca de 5 vezes menores que na bacia 2.

**Figura 4 – Características das bacias 1, 2 e 3**



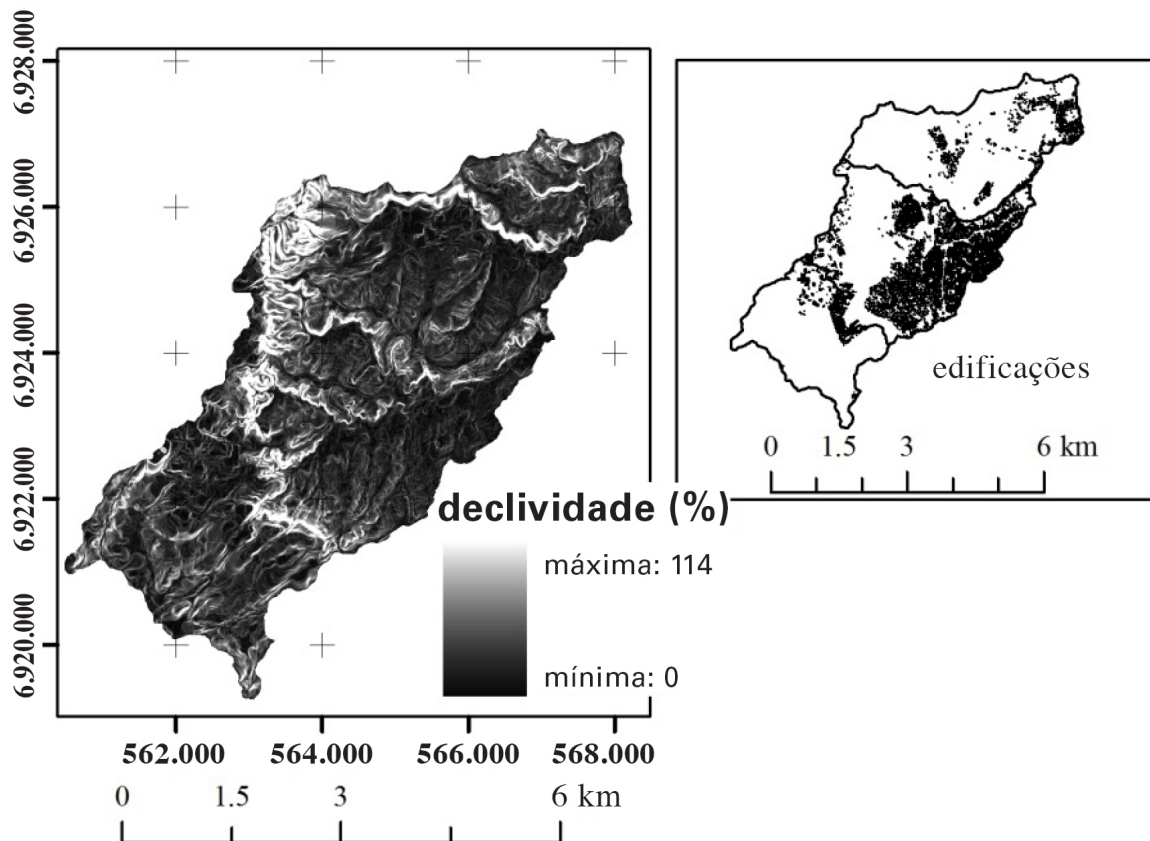
## Comportamento do sistema urbano

A distribuição geográfica das edificações, representantes do subsistema morfológico urbano, é distinta entre as bacias. De acordo com a Figura 5, constata-se evidência visual de que o processo de ocupação territorial do sistema urbano tende a se concentrar 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. No limite norte dessa bacia há uma barreira física natural de relevo acentuado que inibe a progressão urbana nesta direção. Na bacia 3, representativa da franja periférica, a ocupação está posicionada ao norte da bacia.

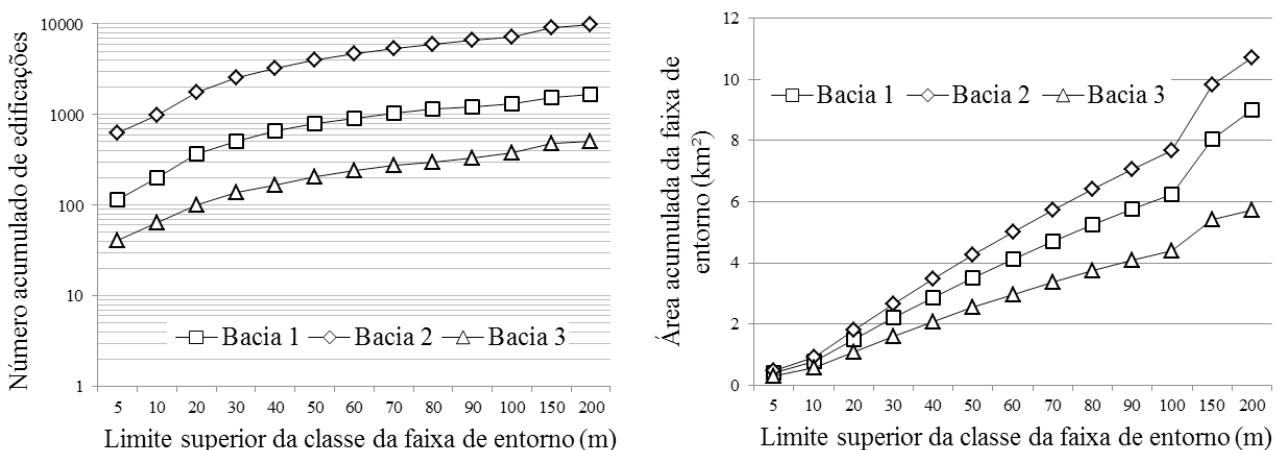


**Figura 5 – Mapa de declividades e distribuição geográfica das edificações nas bacias 1, 2 e 3**



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 6). Esse padrão está 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 bacias.

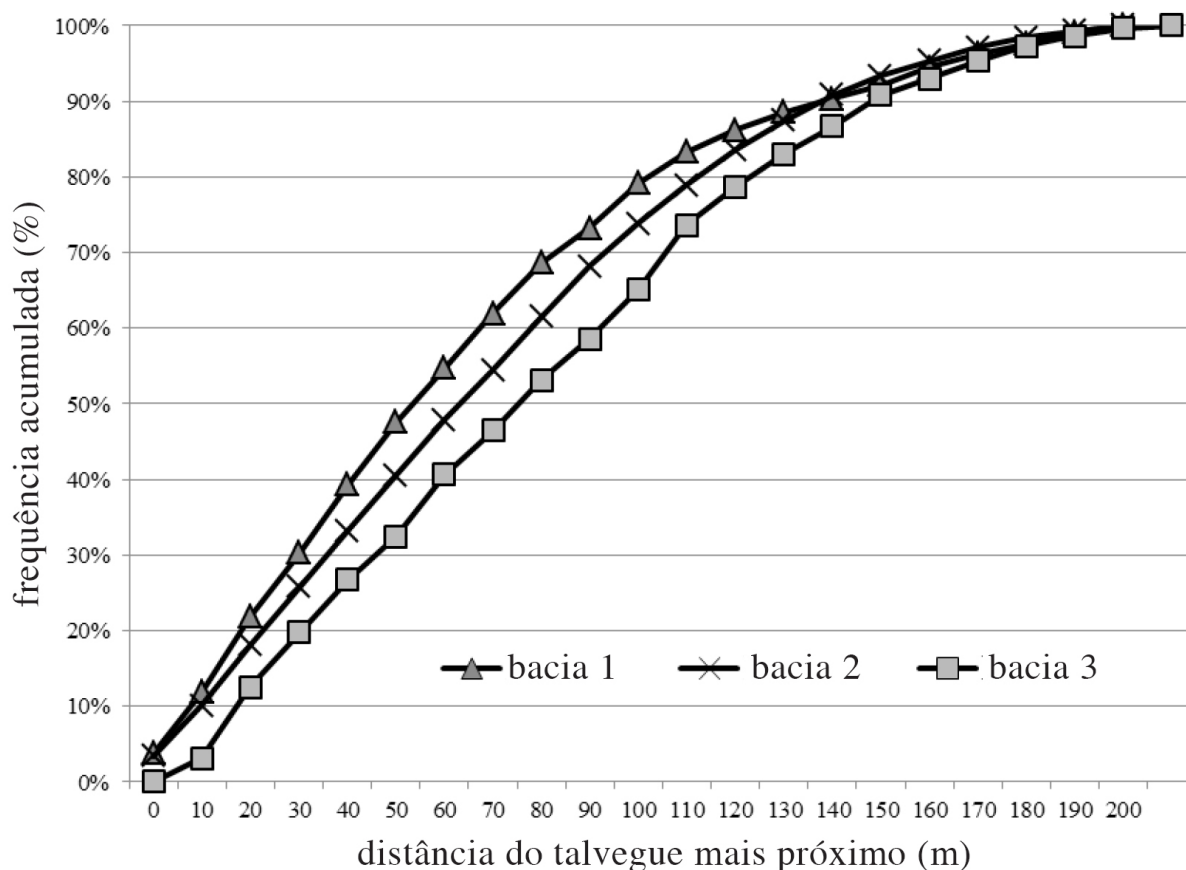
**Figura 6 – Evolução do número e da área das edificações nas faixas de entorno dos talwegues**



## Frequência e densidade de edificações

A Figura 7 apresenta a frequência relativa das edificações obtidas até 200 m dos talvegues. Cerca de 50% das edificações encontradas nessa faixa estão localizadas até 50 m dos talvegues na bacia 1, 60 m na bacia 2 e 90 m na bacia 3. Apesar dos índices de ocupação das bacias 1 e 3 serem semelhantes, e cerca de 4,5 vezes menores que da bacia 2, é na bacia 1 onde a ocupação está mais concentrada próxima aos talvegues. Significa que nesta bacia, a ocupação territorial tende a ocorrer dos talvegues em direção à periferia da mesma.

**Figura 7 – Frequência acumulada das distâncias das edificações aos talvegues em um raio de busca de 200 m nas bacias 1, 2 e 3**



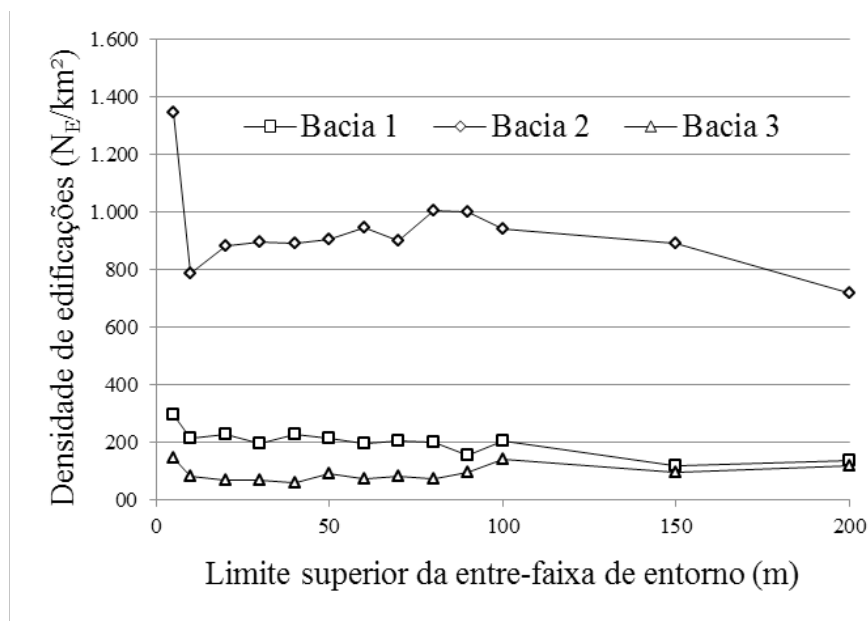
Ao contrário da bacia 1, na bacia 3 as edificações estão mais longe dos talvegues. Isso pode ser explicado por essa bacia estar na franja urbana, ou periferia. Assim, essa bacia tende a ser ocupada de sua periferia em direção aos talvegues.

A bacia 2 apresenta uma situação intermediária entre as anteriores, pois boa parte de seu território está consolidado pela ocupação de uma parcela do núcleo central da cidade.

As três bacias apresentaram  $D_e$  decrescentes nas entrefaixas de entorno a partir dos talvegues (Figura 8). A  $D_e$  na entrefaixa de 5 m foi significativamente alta na bacia 2. Enquanto na bacia 1 a tendência foi de queda gradativa na medida do afastamento dos talvegues, na bacia 3, a  $D_e$  se mostrou decrescente até a faixa de 50 m e tendendo a aumento a partir daí.

Portanto, na bacia 1, o sistema urbano se expande a partir dos talvegues, e, na bacia 3, no sentido oposto, ou seja, da periferia das faixas em direção aos talvegues.

**Figura 8 – Densidade de edificações nas entrefaixas de entorno das bacias 1, 2 e 3**



### Índice de ocupação

○ I<sub>OU</sub> médio das entrefaixas de entornos não diferiram nas bacias 1 e 3 e foram significativamente superiores na bacia 2 (Tabela 1).

**Tabela 1 – Estatísticas descritivas dos índices de ocupação nas entrefaixas de entorno 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

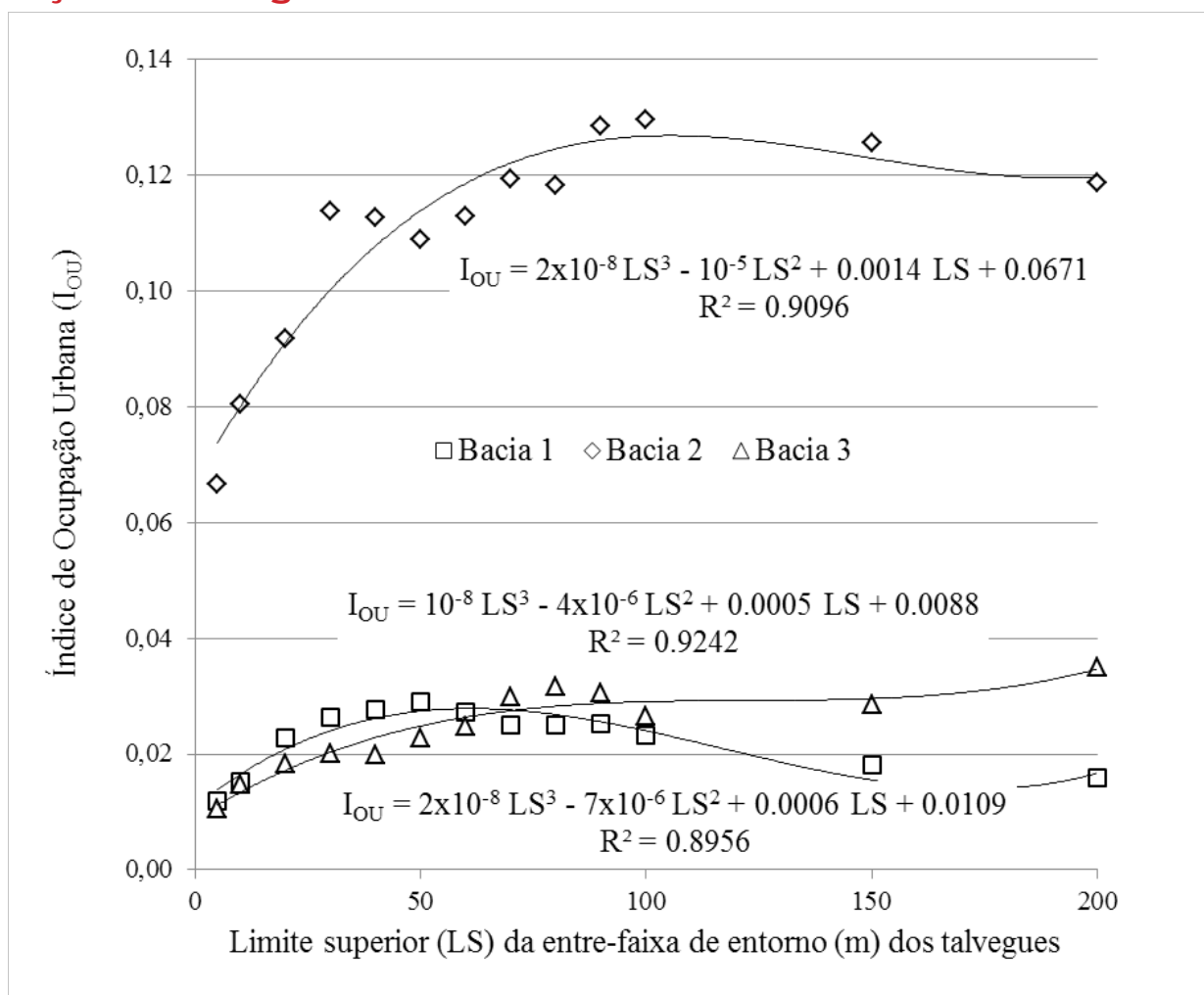
\* Médias seguidas com mesma letra não diferem entre si pelo teste t ao nível de 5%.

Apesar das médias serem estatisticamente não distintas, as bacias 1 e 3 apresentaram baixa correlação linear entre seus índices de ocupação (Tabela 2). Isto convalida a conclusão de que o sistema urbano em ambas apresenta 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 1 – Comportamento do índice de ocupação urbana ( $I_{OU}$ ) nas bacias 1, 2 e 3 na medida do afastamento das respectivas edificações em relação aos talwegues**



A variação dos índices de ocupação nas entrefaixas ajustaram-se a modelos polinomiais de 3ª ordem (Figura 9), 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 urbana nas bacias 1, 2 e 3**

estatística	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 (p-valor = 0,108)	0,956 (p-valor = 0,686)	0,973 (p-valor = 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	$9,8 \times 10^{-06}$	$6,5 \times 10^{-06}$	$4,3 \times 10^{-05}$
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 50 m na bacia 1, por ser uma área pouco antropizada, e 100 m na bacia 2, por conter parte do núcleo urbano principal da cidade. A provável estabilização indicada pelos modelos pode estar 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 está relacionado com a ocupação estar se dirigindo da periferia das faixas de entorno em direção aos seus talwegues. O modelo da bacia 3 esta, portanto, indicando um provável comportamento típico do sistema urbano nas franjas urbanas.

## Considerações finais

Este trabalho mostrou que os índices de ocupação urbana nas bacias 1 e 3 são estatisticamente semelhantes, apesar da diferença entre a área e a extensão total dos respectivos talwegues, que o índice de ocupação da bacia 2 é cerca de cinco vezes maior que o das demais e a ocupação das bacias menos antropizadas tende a seguir o padrão das mais antropizadas.

Observou-se que a ocupação urbana do espaço geográfico das três bacias segue padrões diferentes, mas ocorre predominantemente nas porções de relevo menos declivoso.

A análise dos dados indica que, na bacia 1, o sistema urbano evolui dos talwegues em direção à periferia; na bacia 3, ocorre o inverso e, na bacia 2, há uma situação intermediária.

O sistema urbano na bacia 3 apresenta um comportamento típico das regiões caracterizadas como franjas urbanas, sobretudo quando o plano diretor da cidade não prevê a preservação das margens de córregos ou rios.

## Referências

- BRAGA, L. P. V. *Introdução à mineração de dados*. 2. ed. Rio de Janeiro: E-Papers, 2005.
- BRASIL. Lei nº. 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras providências. Brasília, DF. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L6766.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6766.htm)>. Acesso em: 28 dez 2010.
- BRASIL. Lei nº. 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Brasília, DF. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L4771.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm)>. Acesso em: 28 dez. 2010.
- CARPENTER, S. R. et al. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, v. 8, n. 3, p. 559-568, ago. 1998.
- CHARLTON, R. *Fundamentals of fluvial geomorphology*. New York: Taylor & Francis, 2008.
- CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. *Physical geography: a systems approach*. London: Prentice Hall, 1971.
- GROFFMAN, P. M. et al. Down by the riverside: urban riparian ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 1, n. 6, p. 315-321, ago. 2003.
- HATT, B. E. et al. The influence of urban density and drainage infrastructure on the concentrations and loads of pollutants in small streams. *Environmental Management*, v. 34, n. 1, p. 112-124, jul. 2004.
- HUGGETT, R. J. *Fundamental of geomorphology*. 2. ed. New York: Taylor & Francis, 2007.
- KOBIYAMA, M. et al. *Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos*. Curitiba: Organic Trading, 2006.
- NYAMBOD, E. M. Environmental consequences of rapid urbanization: Bamenda city, Cameroon. *Journal of Environmental Protection*, Bruxelas, v. 1, n. 1, p. 15-23, mar. 2010.
- PAUL, M. J.; MEYER, J. L. Streams in the urban landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 32, p. 333-365, nov. 2001.

- RAFAELI NETO, S. L. R. . *Um modelo conceitual de sistema de apoio à decisão espacial para gestão de desastres por inundações*. Tese (Doutorado em Engenharia – Geoprocessamento) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- \_\_\_\_\_. *Análises morfométricas em bacias hidrográficas integradas a um sistema de informações geográficas*. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.
- RIBEIRO, C. A. A. S. et al. O desafio da delimitação de áreas de preservação permanente. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 203-212, mar./abr. 2005.
- 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*. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2010.
- SIMON, H. A. *Prediction and prescription in systems modeling*. *Operations Research*, v. 38, p. 7-14, 1990.
- SOUZA JR. et al. Contribuição dos constituintes da fração argila de solos subtropicais à área superficial específica e à capacidade de troca catiônica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 1355-1365, 2007.
- STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of erosional landforms. In: *Physical geography*. 4 ed. New York: Willey, 1975.
- TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.
- ZEIHOFER, P.; MIRANDA, C. S. Proposta de parcelamento e infraestrutura em bacias urbanas: estudo de caso – córrego Moinho, Cuiabá, MT. *Geosp – Espaço e Tempo*, São Paulo, n. 31, p. 37-53, 2012.