

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DA DINÂMICA SÓCIO-ESPACIAL URBANA: EXPLORANDO O CRESCIMENTO PERIFÉRICO EM AMBIENTE CELULAR.

TORALLES, Christiano¹; MORELATTO, Natália²; POLIDORI, Maurício³

¹Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFPel – kicotoralles@gmail.com

²Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UFPel – nati_baccin@hotmail.com

³Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, PROGRAU, UFPel – mauricio.polidori@terra.com.br

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, estudos relacionados ao crescimento urbano têm traçando modelos sobre fenômenos sócio-espaciais, de modo a representar e interpretar a lógica dos processos inerentes à dinâmica e à configuração das cidades – como os modelos propostos por Barros (2004), Polidori (2004) e Torrens (2006). Um desses fenômenos é o crescimento periférico, que consiste em expansões do tecido urbano nas bordas da cidade, principalmente para uso residencial, numa dinâmica de conversão de áreas naturais ou rurais em áreas urbanas (CZAMANSKI et al., 2008). A esse fenômeno está associado o problema da segregação urbana, podendo ser destacados dois tipos de formação periférica: a) a *periferização*, relacionada à concentração de população de baixa renda; b) o *urban sprawl*, relacionado aos núcleos residenciais para média-alta e alta renda.

Com o desenvolvimento da computação e a crescente ampliação de sua capacidade de armazenamento e processamento de dados, abriu-se o campo para estudos sobre dimensão morfológica dos processos de crescimento das cidades, através de técnicas de modelagem e simulação urbana, com suporte em geotecnologias (BARROS, 2004; ALMEIDA et al., 2007). Nesse caminho, o presente trabalho objetiva explorar o fenômeno do crescimento periférico, buscando verificar as possibilidades de modelagem da formação de periferias, bem como a sua identificação na morfologia resultante, fazendo uso da técnica de autômatos celulares, apoiada em ferramentas de sistemas de informação geográfica (SIG), através do modelo de crescimento urbano implantado no software *CityCell*.

De modo a delinear a pesquisa e demonstrar a hipótese de associação dos padrões espaciais dos tipos de formação periférica com indicadores de concentração de facilidades urbanas e estoques construídos e com características do ambiente natural, estão propostos dois estudos de caso exploratórios, sendo um para uma cidade abstrata e outro para a cidade de pequeno porte (Arroio Grande, RS). O trabalho encontra-se em desenvolvimento, sendo sugeridas continuidades para novos estudos, como a inclusão de procedimento que considerarem efeitos de *feedback* de vizinhança, auxiliando no entendimento do fenômeno e possibilitando maior chance de acerto locacional na simulação do crescimento periférico para, assim, contribuir em processos de tomada de decisão para o planejamento urbano.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo utiliza modelagem urbana, aplicando técnicas de autômatos celulares (*cellular automata* - CA), as quais simulam processos onde ações locais geram reflexos de ordem global (BATTY, 2005), buscando replicar em ambiente computacional os processos sócio-espaciais de crescimento urbano, com foco

para o crescimento periférico. Para isso, foi utilizado o software *CityCell – Urban Growth Simulator*, desenvolvido pela equipe do Laboratório de Urbanismo da UFPel para atualização do modelo SACI (POLIDORI, 2004).

O *CityCell* integra CA e SIG a partir de um modelo urbano dinâmico, que considera atributos urbanos, naturais e institucionais, através de medidas de centralidade e potencial (KRAFTA, 1994) e de resistências à urbanização acumuladas. A cidade é reproduzida no modelo a partir da distribuição de cinco tipos diferentes de tensões (axial, axial de buffer, polar, difusa 1 e difusa 2), sendo que duas dessas tensões, chamadas de difusas, são distribuídas através de processos semi-aleatórios, possibilitando incorporar a morfologia da formação de núcleos dispersos. A tensão chamada difusa 1 produz morfologia que se assemelha à lógica de produção de núcleos de alta e média-alta renda e a tensão difusa 2 guarda similaridade com a formação de núcleos de baixa-renda.

Como delineamento experimental da pesquisa, foram propostos dois estudos de caso, através de simulações de crescimento urbano no *CityCell*, sendo um para uma cidade abstrata e outro usando como dados de entrada no sistema a morfologia de uma cidade real de pequeno porte (Arroio Grande, RS). Os *outputs* gerados pelos processos, com suporte em álgebra de mapas em ambiente SIG, permitem efetuar análises que auxiliem na interpretação da formação de periferias urbanas e na inferência de sua localização e estrutura na cidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De modo a demonstrar o comportamento das tensões difusas na dinâmica do crescimento urbano, está elaborado um estudo de caso para uma cidade qualquer (Figura 1), o qual consiste em uma semente urbana localizada no centro de um grid celular e dois *inputs* de resistências à urbanização, sendo um crescente em direção à direita e outro aleatório. Com isso, foram simulados processos de três maneiras distintas, variando o valor das tensões envolvidas: a) 100% para tensão difusa 1; b) 100% para tensão difusa 2; c) 20% para todas as cinco tensões, chamado isotensões, que é o padrão do modelo.



Figura 1: Dados de entrada no modelo para cidade abstrata: a) carregamento urbano; b) resistências do ambiente natural (em ordem crescente de tons de cinza); c) resistências aleatórias; d) composição entre as resistências.

No primeiro processo, onde há 100% das tensões distribuídas para a difusa do tipo 1 (Figura 2a), o resultado mostra um crescimento urbano cujas células vão aparecendo de forma dispersa, configurando um padrão fragmentado em relação ao núcleo, porém se concentrando à esquerda do grid, consumindo áreas com menores resistências à urbanização. Já no segundo processo, com 100% das tensões distribuídas para a difusa do tipo 2 (Figura 2b), pode ser observado um crescimento também disperso, mas gerando um padrão mais fragmentado que o caso anterior, em núcleos menores e esparsos, ocorrendo em todas as áreas do grid e com grande conversão em áreas de elevadas resistências. Esses resultados se assemelham a algumas das características morfológicas relativas aos dois tipos de formações periféricas, sendo fáceis de ser interpretados quando se simula o crescimento com o predomínio total de apenas uma das tensões. No

terceiro processo, com distribuição igualitária para os cinco tipos de tensões (Figura 2c), o resultado final apresenta uma morfologia com expansão do núcleo central original e surgimento de núcleos dispersos: mais compactos, à esquerda da imagem, em áreas de menores resistências, se assemelhando às características do *urban sprawl*; e mais fragmentados, à direita da imagem, em áreas de maiores restrições, semelhante às características da *periferização*.



Figura 2: *Outputs* de células urbanas nos processos para cidade genérica, na iteração 40: a) para 100% de tensões difusas tipo 1; b) para 100% de tensões difusas tipo 2; c) para 20% isotensões.

No estudo de caso exploratório para uma cidade real de pequeno porte (Arroio Grande, RS), de modo a conferir maior complexidade e heterogeneidade aos dados de *input* (Figura 3), foi simulando o crescimento urbano com distribuição isotensões. A Figura 4 mostra os resultados gráficos dos *outputs* após 40 iterações (correspondendo, aproximadamente, a 40 anos):



Figura 3: Dados de entrada no modelo para cidade de Arroio Grande, RS: a) atributos urbanos; b) atributos do ambiente natural; c) resistências aleatórias.

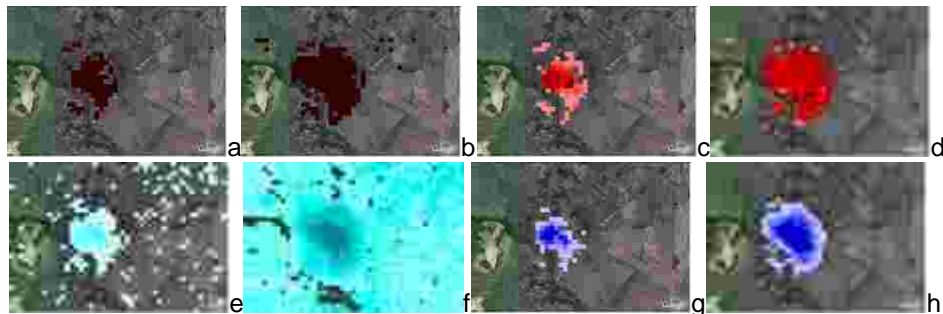


Figura 4: *Outputs* do modelo para cidade de Arroio Grande, RS, respectivamente para as iterações 1 e 40: a e b) células urbanas; c e d) *Urban Load*; e e f) *CentR1*; g e h) *CentR2*.

Estudos com operações de álgebra de mapas, em ambiente SIG, combinando os *outputs* referentes à concentração de facilidades urbanas (*CentR1* e *CentR2*, sendo que a primeira destaca os maiores valores da medida de centralidade e a segunda os menores) e de estoques construídos (*Urban Load*), têm apresentado resultados satisfatórios na identificação de padrões espaciais, quanto à forma e localização. Os cálculos efetuados foram os seguintes: a) para encontrar os núcleos de baixa renda, segundo a hipótese que a *periferização* está associada às menores centralidades (onde há carência de facilidades urbanas) e maior densidade de estoques construídos, foi feita a divisão "*Urban Load/CentR2*"; b) para encontrar os núcleos de alta renda, segundo a hipótese que o *urban sprawl* está associado às melhores centralidades (onde encontram-se mais facilidades urbanas) e menor densidade de estoques construídos, foi feita a divisão "*CentR1/Urban Load*".

O resultado encontrado a partir da álgebra de mapas (Figura 5) mostra, em preto, as expansões de baixa renda e, em branco, os novos núcleos de alta

renda. As células de baixa renda aparecem em maior quantidade, o que pode ser relacionado com o maior percentual da população da baixa renda na estrutura social brasileira.



Figura 5: Álgebra de mapas: periferias de baixa renda, em preto; periferias de alta renda, em branco.

4. CONCLUSÕES

Considerando os resultados encontrados até o momento, podem ser efetuadas as seguintes observações: a) a distribuição de tensões difusas, relacionadas às centralidades e resistências do ambiente natural, permite simular morfologias que se assemelham, quanto à forma e localização, ao *urban sprawl* e à *periferização*; b) o modelo implementado no *CityCell* não possui um output que possibilite a verificação de distribuição celular específica para cada tipo de tensão e, respectivamente, cada tipo de periferia, mas operações com álgebras de mapas, em SIG, combinando carregamentos urbanos e centralidades relativas, auxiliam a inferir na distribuição morfológica e espacial das formações periféricas. Diante disso, é possível indicar continuidades para os estudos, sugerindo testes em outras cidades, bem como a inclusão de procedimento que sejam capazes de considerar efeitos de *feedbacks* de vizinhança, reforçando o entendimento do fenômeno e uma maior chance de acerto na simulação das periferias.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, C.M.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V. (orgs.). **Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- BARROS, J.X.. **Urban growth in latin american cities: exploring urban dynamics through agent-based simulation**. 2004. Tese (Doutorado em Urban Planning) – University of London.
- BATTY, M. **Cities and complexity: understanding cities with cellular automata, agent-based models, and fractals**. Cambridge: The MIT Press, 2005.
- CZAMANSKI, D. et al. Urban sprawl and ecosystems: can nature survive? In: **International review of environmental and resource economics**. [s.l.: s.n.], 2008. p. 321-366.
- KRAFTA, R. Modelling intraurban configurational development. In: **Environment and planning B: planning and desing**. Vol. 21. Londres: Pion, 1994.
- POLIDORI, M.C. **Crescimento urbano e ambiente: um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade**. 2004. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- TORRENS, P.M. Simulating sprawl. In: ASSOCIATION OF AMERICAN GEOGRAPHERS. **Annals of the Association of American Geographers**, n. 96. [Washington, EUA: AAG], 2006.