



EIXO TEMÁTICO:

- | | | |
|---|---|---|
| <input type="checkbox"/> Ambiente e Sustentabilidade | <input type="checkbox"/> Crítica, Documentação e Reflexão | <input type="checkbox"/> Espaço Público e Cidadania |
| <input type="checkbox"/> Habitação e Direito à Cidade | <input type="checkbox"/> Infraestrutura e Mobilidade | <input checked="" type="checkbox"/> Novos processos e novas tecnologias |
| <input type="checkbox"/> Patrimônio, Cultura e Identidade | | |

A segunda onda: bordas da cidade e simulação de crescimento urbano com autômatos celulares

The second wave: the edges of the city and urban growth simulation with cellular automata

La segunda ola: los bordes de la ciudad y de simulación de crecimiento urbano con autómatas celulares

POLIDORI, Maurício Couto (1);

PERES, Otávio Martins (2);

SARAIVA, Marcus Pereira (3)

(1) Professor Doutor, Universidade Federal de Pelotas, UFPel, Laboratório de Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, LabUrb, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, PROGRAU, Pelotas, RS, Brasil; e-mail: mauricio.polidori@gmail.com

(2) Professor Mestre, Universidade Federal de Pelotas, UFPel, Laboratório de Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, LabUrb, Pelotas, RS, Brasil; e-mail: otmperes@gmail.com

(3) Pesquisador Mestre, Universidade Federal de Pelotas, UFPel, Laboratório de Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, LabUrb, Pelotas, RS, Brasil; e-mail: marcus.saraiva@gmail.com



A segunda onda: bordas da cidade e simulação de crescimento urbano com autômatos celulares

The second wave: the edges of the city and urban growth simulation with cellular automata

La segunda ola: los bordes de la ciudad y de simulación de crecimiento urbano con autómatas celulares

RESUMO

Simulações de crescimento urbano em cidades pequenas têm mostrado diferenças das bordas de expansão em relação às demais partes da cidade, com o potencial de crescimento concentrado nas interfaces do espaço urbano mais urbanizado com o menos urbanizado. Essa concentração tende a demarcar frentes de expansão espacial em forma de linha, determinando bordas com comportamento diferenciado no sistema, com elevado potencial de transformação e baixa qualidade urbana, indicando concentração e exclusão espacial simultaneamente. Essas frentes de expansão estão sendo estudadas em simulações com cidades do sul do Brasil, utilizando técnicas de autômato celular, através do software CityCell, desenvolvido pelo Laboratório de Urbanismo da FAUrb, sendo que uma “segunda onda” pode ser observada no crescimento urbano, pois os experimentos sugerem a formação de duas frentes que concentram potencial de mudança, neste trabalho chamadas de “ondas”. Enquanto que a “primeira onda” (mais externa) parece concentrar os menores valores de centralidade, a segunda (mais interna) tende a concentrar os maiores valores de potencial de mudança, como se a “primeira onda” fosse a precursora e arcasse com os ônus iniciais da urbanização e como se “segunda onda” fosse a sucessora, aproveitando possíveis vantagens geradas pela onda anterior.

PALAVRAS-CHAVE: crescimento urbano, autômato celular, concentração, exclusão

ABSTRACT

Simulations of urban growth in small towns have shown differences of the edges of expansion compared to other parts of the city, with the potential for growth concentrated in the most urbanized with less urbanized urban space interfaces. This concentration tends to demarcate fronts spatial expansion shaped line, determining edges with different behavior in the system with high transformation potential and low urban quality, indicating both concentration and spatial exclusion. These expansion fronts are being studied in simulations with cities in southern Brazil, using cellular automata techniques through CityCell software, developed by the Laboratory of Urbanism FAUrb, and a "second wave" can be observed in urban growth, as experiments suggest the formation of two fronts that concentrate potential for change. While the "first wave" (outer) seems to concentrate the lowest values of centrality, the second (inner) tends to concentrate the highest values of potential change, as if the "first wave" was the precursor and barked with initial burden of urbanization and as "second wave" was the successor, taking advantage of potential benefits generated by the previous wave.

KEY-WORDS: urban growth, cellular automata, concentration, exclusion

RESUMEN

Las simulaciones de crecimiento urbano en las ciudades pequeñas han mostrado diferencias de los bordes de expansión en comparación con otras partes de la ciudad, con el potencial para el crecimiento concentrado en la más urbanizada con interfaces espaciales urbanas menos urbanizadas. Esta concentración tiende a delimitar ampliación espacial en forma de línea utilizando los bordes con un comportamiento diferente en el sistema con un alto potencial de transformación y baja calidad urbana, lo que indica tanto la concentración como la exclusión espacial. Estos frentes de expansión se están estudiando en las simulaciones con las ciudades del sur de Brasil, el uso de técnicas celulares autómatas,



con software Citycell , desarrollado por el Laboratorio de Urbanismo FAUrb , y una "segunda ola" se pueden observar en el crecimiento urbano, experimentos sugieren la formación de dos frentes que se concentran potencial para el cambio . Mientras que la " primera ola " (exterior) parece concentrar los menores valores de centralidad , la segunda (interior) tiende a concentrar a los más altos valores de cambio potencial , como si la " primera ola " fue el precursor're responsable de los costos urbanización inicial y como " segunda ola " , fue el sucesor, con el uso de los beneficios potenciales generados por la ola anterior.

PALABRAS-CLAVE: *crecimiento urbano, autómatas celulares, concentración, exclusión*

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta uma síntese da situação atual dos estudos de morfologia urbana dedicados a compreensão da formação e transformação das bordas externas da cidade atual, os quais têm sido elaborados pela equipe do Laboratório de Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas. Nesse caminho, têm sido realizados três esforços combinados, a saber: a) do ponto de vista teórico têm sido assumidas premissas de que a cidade experimenta transformações que produzem desigualdades socio-espaciais, cuja descrição, observação e análise crítica interessam no campo da investigação científica; b) do ponto de vista metodológico, uma das frentes de trabalho está dedicada a realizar simulações de crescimento urbano utilizando autómatos celulares, o que inclui produção de modelos e de software; c) do ponto de vista empírico vêm sendo realizadas simulações de crescimento urbano com cidades do sul do Rio Grande do Sul, em área de influência da Universidade e em faixa de fronteira do Brasil com o Uruguai. Para isso importa desenvolver conhecimentos relativos a simulações, a dinâmicas de crescimento urbano, a segregação socio-espacial e, especialmente, à formação de bordas na cidade, como vêm a seguir.

Simulações têm sido consideradas como importantes instrumentos de trabalho no campo do urbanismo, particularmente quando envolvem interação entre aspectos físicos, sociais e ambientais (ALBERTI, 1999). Sendo assim, simulações podem oferecer aos pesquisadores cenários hipotéticos de cidades reais, estimulando a descoberta e auxiliando na formulação de teorias (AXELROD, 1997). Para isso, técnicas computacionais, que podem ser reunidas sob o conceito de geocomputação, vêm sendo crescentemente utilizadas em trabalhos de simulação e de modelagem urbana, transformando o computador em laboratório e em meio de experimentação (BURROUGH, 1998; BATTY, 1998).

Um dos aspectos das cidades que pode ser investigado com o uso de simulações é o seu crescimento, o que inclui capturar dinâmicas de mudança, considerar o tempo e modos de representação espacial. Neste trabalho as mudanças urbanas estão assumidas como decorrentes de interações entre a estrutura urbana, a social e o ambiente natural, utilizando modelagem computacional dinâmica com o auxílio de autómatos celulares (O'SULLIVAN e TORRENS, 2000); o tempo vai ser incorporado como uma sucessão de estados encadeados, onde mecanismos de feedback positivo e negativo interagem e influenciam estados seguintes; por fim o modo de representação adotado é o de um grid, onde células representam espaços discretos e contêm atributos físicos, naturais e institucionais (POLIDORI, 2004).

Esse crescimento da cidade é composto por dinâmicas internas e externas, sendo que a primeira ocorre mediante ocupação de espaços vacantes ou substituição de estoques construídos, enquanto que a segunda opera por conversão de solos não urbanizados em novos



espaços urbanos, caracterizando um processo complexo, auto-organizado e emergente. A ideia de complexidade advém da compreensão da cidade e de suas mudanças como algo que inclui múltiplas interferências e agentes, com diversas relações possíveis entre eles, as quais ocorrem de modo iterativo e com feedback composto, de modo a acelerar ou frear mudanças; o conceito de auto-organização está associado à ideia de ausência de um elemento controlador central do conjunto (que ditaria suas transformações), sendo o crescimento urbano decorrente de lógicas próprias da cidade, onde seus atributos, encontrados na sua forma, na sociedade e no substrato natural, encarregam-se de manter ou de dissipar mudanças; enfim a ideia de emergência aparece como a compreensão de que a transformação iterativa, complexa e auto-organizada da cidade faz surgir padrões notáveis de ordenação espacial, observáveis na sua morfologia e nas transformações das preexistências urbanas e naturais (PORTUGALI, 1997; JOHNSON, 2003; POLIDORI, 2003).

Esse modo de crescimento e mudança tem estimulado segregação socio-espacial, pois a sociedade urbana funciona transformando seletivamente os lugares de acordo com suas necessidades, disputas. Tem sido observado que as camadas de mais alta renda tendem a se localizar no centro tradicional e nos bairros considerados nobres, dotados de mais serviços urbanos, públicos e privados, enquanto que as camadas de mais baixa se localizam em áreas de menor qualidade, dentre as quais estão as bordas da cidade (a partir de VILLAÇA, 2001). Ainda de acordo com Villaça, nos limites da cidade são piores os serviços de transporte público, energia elétrica, água potável, saneamento básico, lazer, segurança e demais aspectos da boa condição de vida urbana.

2 UTILIZANDO AUTÔMATOS CELULARES EM ESTUDOS URBANOS

O uso de autômatos celulares está ligado ao desenvolvimento da computação, da inteligência e da vida artificiais, o que vem sendo divisado desde os primeiros trabalhos de John von Neumann (precursor da computação e da teoria de jogos) e Stanislaw Ulmam (um dos primeiros desenvolvedores das técnicas de Monte Carlo), na década de 1940, até os mais recentes argumentos de Stephen Wolfram (reconhecido teórico contemporâneo em computação, matemáticas e autômatos celulares, como está em GRECO, 2002). Antes disso, na década de 30, Alan Turing já pensava na “Máquina Universal de Turing”, como mais tarde ficou conhecido; por ser um autômato hipotético, isso impulsionou o pensamento da década de 40, dando origem à criação dos computadores, que seguiram os mesmos princípios lógicos e conceituais. A ideia era de criar um “computador universal”, que nunca precisaria ser reconstruído, só reprogramado; uma tarefa imaginada para essa máquina seria “duplicar a si mesmo” ou replicar-se, (MADDOX, 1983), o que interessa tanto ao domínio dos fenômenos ambientais quanto ao dos sociais e espaciais (AXELROD, 1997). As chamadas “Máquinas de Turing” indicariam um rol de regras para os autômatos celulares aplicáveis mediante ciclos determinados no tempo, em cujos intervalos (ou estados) e processos (ou dinâmicas) o mundo poderia ser examinado.

Autômatos celulares básicos podem ser considerados como um espaço finito composto por parcelas ou células, organizadas numa trama ou grid. Essas células mudam de estado automaticamente (por isso o termo autômato), seguindo certas regras de transição, em função dos estados das células vizinhas. Podem apresentar uma, duas ou três dimensões, sendo que os componentes de um autômatos celulares podem ser classificados (segundo WOLFRAN, 1985) nos seguintes: a) grid; b) células-estado (ou simplesmente células); c) vizinhança; d)



regras de transição; e) tempo. O grid é o espaço finito no qual o autômatos celulares existe, reproduzindo a quantidade e dimensões das células; as células são a unidade espacial do grid, onde residem ou se manifestam os estados possíveis de serem assumidos, que nos autômatos celulares básicos se resumem a um ou zero, porém podem assumir valores diferentes em aplicações ambientais e urbanas, como aparecerá adiante; a vizinhança é a região que é considerada de influência para o próximo estado de cada célula, a qual normalmente se restringe a quatro ou oito, porém tem sido ampliada para representar melhor determinados processos; as regras de transição são os mecanismos de mudança, conhecidos pela sequência if-then-else (se-então-muda), normalmente representadas por enunciados simples, que ao se repetirem geram resultados complexos; o tempo é uma grandeza discreta, isto é, os tempos posteriores não mantêm relações com os anteriores, podendo ser dito que a evolução “destrói” a dependência com o estado inicial.

Um autômato celular pode ser assumido como uma representação abstrata de uma realidade em transformação, cujas regras de transição podem ser apreendidas e reaplicáveis com o passar do tempo, o que permite observação sistemática e iterativa, interessando aos trabalhos científicos e seus esforços em conhecer os processos de mudança. Neste caminho, partindo os autômatos celulares dos mesmos princípios da computação universal, uma de suas possibilidades seria a de auto-reprodução mediante a aplicação de determinadas regras, o que seria passível de controle, observação, apropriação dos resultados, construção de interpretações e de conclusões (BATTY, COUCLELIS E EICHEN, 1997).

As possibilidades de espacialização e de representar processos dinâmicos com autômatos celulares têm sido usadas como auxiliares na resolução de inúmeros problemas ambientais e urbanos, como é o caso do crescimento espacial (WARD, MURRAY E PHINN, 2000). Autômatos celulares apresentam vantagens para sua utilização em simulações urbanas, especialmente quando comparados com modelos tradicionais (BATTY E XIE, 1994), apresentando possibilidades de integrar requisitos de eficiência com equidade, de incorporar espacialidade absoluta (ou Cartesiana) e relativa (ou Leibnitziana), de promover abordagens descentralizadas, de permitir integração com SIGs, de integrar forma e função, de trabalhar com atenção ao detalhe, de ser simples, de permitir o ingresso de outras teorias, de permitir adequada visualização e de, principalmente, representar processos dinâmicos (TORRENS, 2000). Para representar a cidade e seu processo de transformação, os autômatos celulares devem ter algumas de suas características adaptadas, o que recebe o nome de autômato celular estendido, sendo recorrentes as seguintes adaptações (a partir de BATTY E XIE, 1994; WU, 1996; WHITE E ENGELN, 2000): a) o grid não é considerado contínuo, sendo que as células de um lado da borda não são consideradas vizinhas das células de um outro lado; b) as células têm o tamanho ajustado à escala do espaço que se pretende representar, bem como seus estados representam atributos espaciais, os quais podem ser registrados por números fracionários; c) a vizinhança não se restringe às tradicionais 4 ou 8 células adjacentes à célula central (vizinhança de von Neumann e Moore, respectivamente), podendo ser regulada com raios variáveis por funções e associados a áreas de abrangência; d) as regras tentam replicar processos reais que ocorrem na cidade e na paisagem, representando conceitos e teorias sobre as transformações urbanas e ambientais; e) o tempo é transcrito em tempo real, representando a evolução urbana e os horizontes dos cenários que se pretende simular.



3 SIMULANDO CRESCIMENTO URBANO E OBSERVANDO AS BORDAS EM EXPANSÃO

Simulações de crescimento urbano realizadas com cidades de pequeno e porte têm mostrado diferenças das bordas de expansão em relação às demais partes da cidade, sendo que o potencial de crescimento se concentra nas interfaces do urbano com o não-urbano e do mais urbanizado com o menos urbanizado. Essa concentração tende a demarcar frentes de expansão em forma de linha, determinando bordas com comportamento diferenciado do resto do sistema, onde podem ser observadas concentração e exclusão simultâneos, com células de elevado potencial de transformação e baixa centralidade. Essas frentes de expansão estão sendo estudadas em simulações com cidades do sul do Brasil, utilizando técnicas de autômato celular, através do software CityCell, desenvolvido pelo Laboratório de Urbanismo da UFPel. Sendo assim, este trabalho apresenta uma síntese sobre as simulações de crescimento e resultados que vêm sendo alcançados, em estudos sobre as bordas da cidade.

Uma das emergências ou padrão de ordenação espacial que pode ser estudado através de simulações de crescimento urbano é o da formação de periferias urbanas, o qual pode ser associado com o processo conhecido como segregação socio-espacial. O conceito de periferias urbanas que interessa a este trabalho está ligado aos estudos de morfologia urbana, nos quais predomina a ideia de uma faixa externa na cidade, com tamanho que varia desde quadras até bairros inteiros, onde se concentram extratos de população com renda baixa, urbanização e edificações precárias (a partir de BAYÓN e GASPARIANI, 1977, até CZAMANSKI e outros, 2008), assim como novas urbanizações destinadas a populações de renda alta, frequentemente através de condomínios fechados. A ideia de segregação aponta para a diferenciação espacial observável entre as periferias urbanas e outras áreas, quer por ocupação de lugares de menor de mercado, quer por separação voluntária no tecido urbano, frequentemente relacionada à exclusividade, seleção de vizinhança e segurança (a partir de VILLAÇA, 2001; também pelo que sugerem TORALLES, POLIDORI e SARAIVA 2012).

Todavia, parece que é justamente nesse espaço de borda da cidade, marcado por carências em diversos os setores, onde pode ser observada concentração de potenciais de crescimento e de modificações urbanas. A malha mais central da cidade, já construída e apropriada por grupos sociais tradicionais, parece oferecer maior dificuldade ou lentidão para mudanças, as quais implicam em remoção de preexistências e pesados investimentos em substituição de infraestrutura. Por outro lado, as periferias urbanas parecem ser um local estratégico para novos investimentos e para o surgimento de novas políticas urbanas, o que se potencializa pelo encontro do meio urbano com o rural, pela proximidade dos recursos naturais, pelos menores custos territoriais e pela velocidade de crescimento superior às demais regiões da cidade (POLIDORI e BACHILLI, 2007).

Nas bordas urbanas podem ser esperadas mudanças em função do crescimento da cidade e da presença de periferias urbanas, associadas ao processo de segregação socio-espacial. Essa borda pode apresentar características especiais, para o que está enunciada a hipótese de que na borda ocorre simultaneamente exclusão e concentração, o que pode ser descrito por rarefação de valores de centralidade e por aumento do potencial de mudança. Para testar essa hipótese estão realizadas simulações de crescimento urbano utilizando o software CityCell, que opera em ambiente de autômato celular, originalmente proposto por Polidori (2004) com o cognome SACI – Simulador do Ambiente da Cidade e atualmente desenvolvido pelo Laboratório de Urbanismo da FAUrb – LabUrb, por SARAIVA e POLIDORI (2014).

Para verificar a ocorrência de formação de bordas em simulações de crescimento urbano está realizado um experimento nas cidades de Jaguarão e Arroio Grande, no sul do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, em função de seu tamanho adequado e da disponibilidade de informações, mediante SIG realizados através de parcerias da Universidade com a Prefeitura da cidade. As cidades estão descritas mediante um grid de células quadradas de 200m, no qual interagem ambiente urbano e natural, sendo o primeiro representado pela área efetivamente urbanizada e o segundo pela cobertura vegetal, topografia e recursos hídricos. Detalhes sobre o funcionamento do modelo de simulação podem ser obtidos no trabalho de POLIDORI (2004), disponível em <http://www.ufpel.edu.br/faurb/laburb/>.

As simulações foram realizadas para um tempo de quarenta anos, com uma iteração para cada ano. O modelo foi calibrado para aproximar-se quantitativa e qualitativamente do modo como a cidade cresceu na segunda metade do século XX, regulando taxas de crescimento espacial e tipos de ocupação do espaço axial, polar e difuso. A seguir, nas figuras 1 e 2 estão os dados de entrada utilizados na simulações com as cidades de Jaguarão e Arroio Grande, seguidos de slides dos resultados de centralidade e de potencial, nas figuras 3 e 4.

Figura 1: dados de entrada no modelo, para a cidade de Jaguarão; a) área de estudo; b) área efetivamente urbanizada em 1947 (marrom claro) e em 2009 (marrom escuro); c) campos (verde); d) plantações (laranja); e) banhados (azul claro), matas nativas (verde escuro) e matas plantadas (verde claro); f) altitudes (quanto mais escuro mais alto); g) acessos (cinza); h) Rio Jaguarão (azul escuro); linhas de drenagem (azul médio); águas paradas (azul claro).

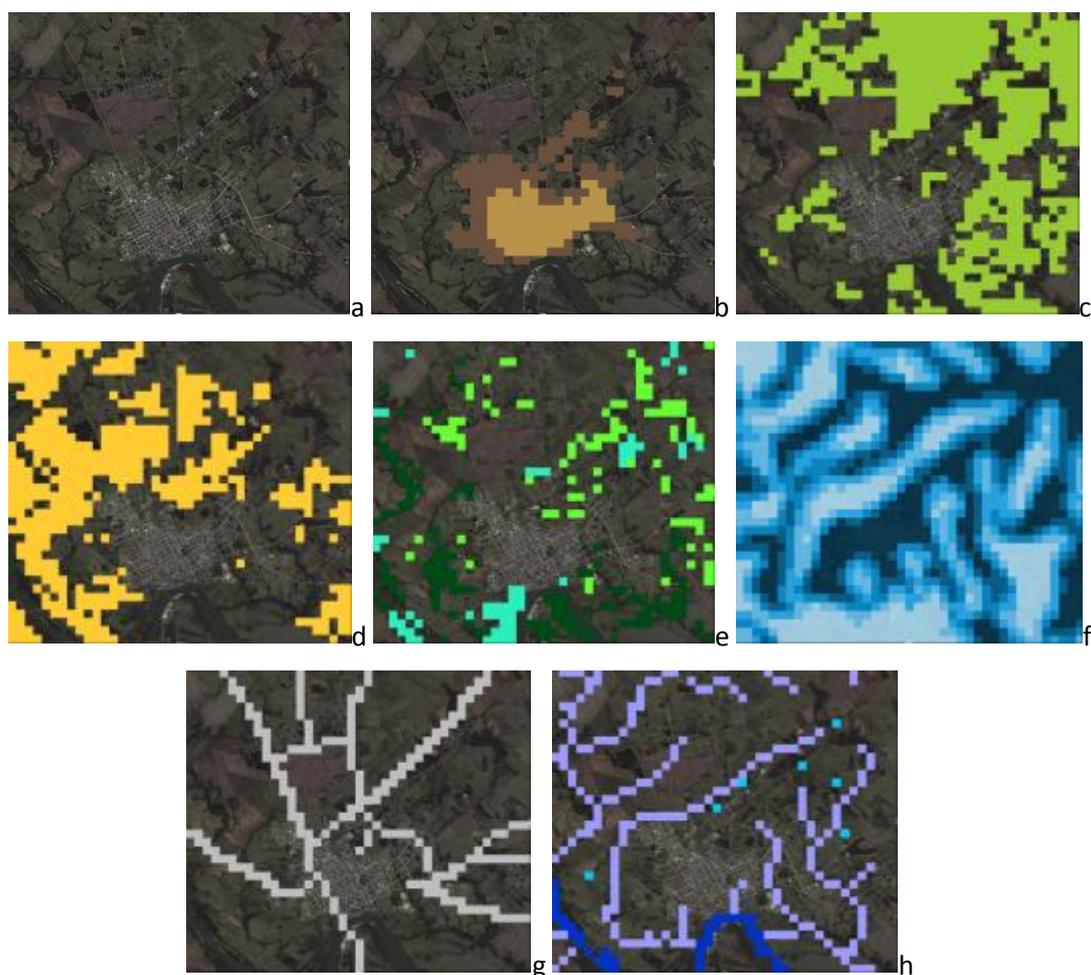
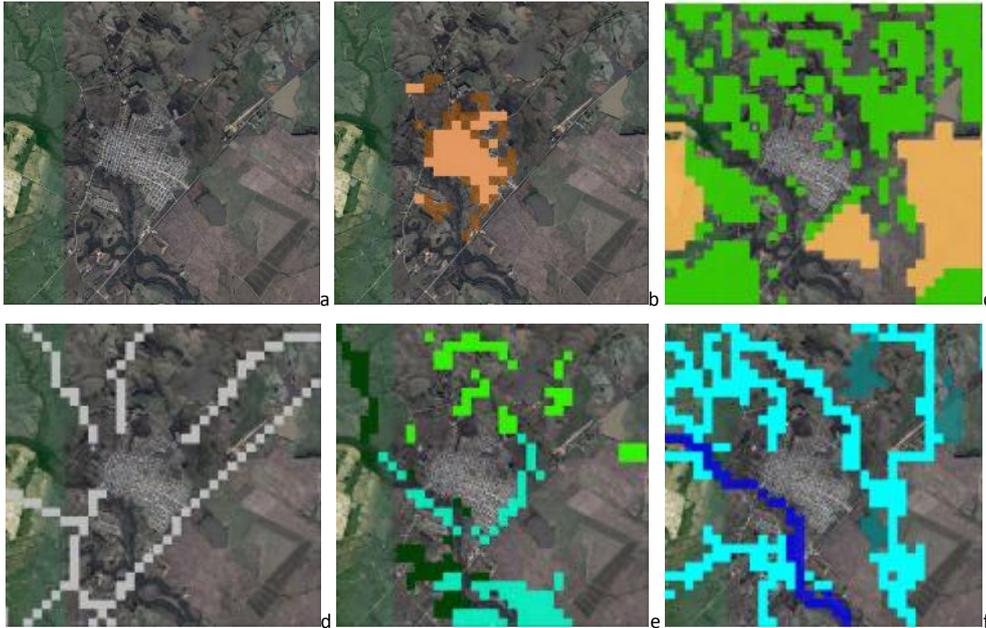


Figura 2: dados de entrada no modelo, para a cidade de Arroio Grande; a) área de estudo; b) área efetivamente urbanizada em 1950 (marrom claro) e em 2010 (marrom); c) campos (verde) e plantações (laranja); d) acessos (cinza); e) banhados (azul claro), matas nativas (verde escuro) e matas plantadas (verde); f) Arroio Grande (azul escuro), águas paradas (azul médio) e linhas de drenagem (azul claro).



As figuras 3 e 4, adiante, mostram slides de simulações de crescimento realizadas nas cidades de Jaguarão e Arroio Grande, no sul do Rio Grande do Sul (uma animação pode ser vista em <http://www.ufpel.edu.br/faurb/laburb/produto/a-segunda-onda/309>) A figura 3 mostra concentração de baixa centralidade nas bordas externas das cidades (destaque em linhas azul), enquanto que a figura 4 mostra duas linhas de elevado potencial. Esse resultado sugere que as áreas de menor qualidade urbana de fato aparecem originalmente na partes externas das cidades, como precursoras da urbanização; todavia, com o decorrer do tempo, essas partes assumem maiores potenciais para mudança, sendo então ocupadas por diferentes extratos, o que está sendo chamado no trabalho de uma “segunda onda”, na parte interna da cidade.

Figura 3: slides 20 de 40 de simulação de crescimento no CityCell, com a medida de centralidade celular em paleta de cores hierárquica em tons de azul, com linha de destaque para baixas centralidades; a) Jaguarão; b) Arroio Grande.

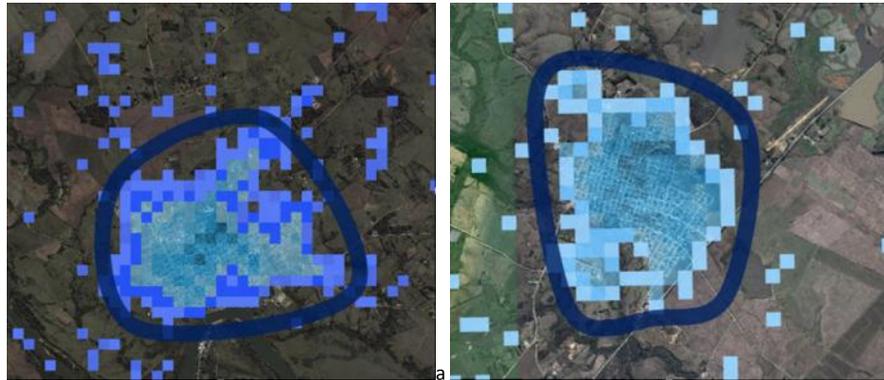
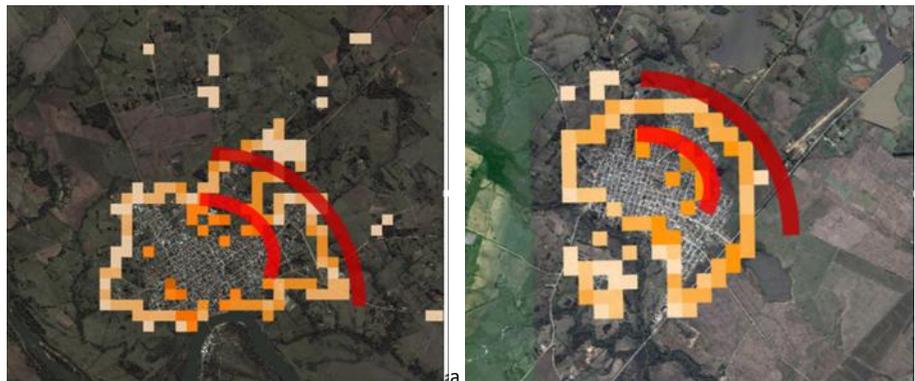


Figura 4: slides 20 de 40 de simulação de crescimento no CityCell, com a medida de Potencial de crescimento celular em paleta de cores hierárquica em tons laranja, com linha de destaque para potenciais elevados mostrando a ideia de uma “segunda onda”, na parte interna da cidade; a) Jaguarão; b) Arroio Grande.



Dessas simulações também podem ser feitas três observações principais:

- a centralidade permanece baixa nas bordas da cidade durante toda a simulação; todavia, conforme o tamanho da cidade aumenta, as áreas de menor centralidade são deslocadas para regiões mais distantes do centro tradicional;
- o centro tradicional permanece estável durante toda a simulação, como portador de privilégios inalterados pelas mudanças na periferia;
- o potencial de crescimento se apresenta com duas formas predominantes: ou de modo difuso e fragmentado, ou como uma linha com alguns valores máximos, à semelhança da forma de um colar.



4 CONCLUSÕES

A partir das ideias enunciadas aqui e das simulações de crescimento urbano realizadas, três conclusões principais podem ser apresentadas:

a) existe um efeito de borda urbano: de fato as simulações comprovaram a formação de uma borda diferenciada do resto da cidade que se modifica no processo de crescimento; tal como fora sugerido originalmente (Polidori, 2004), a dinâmica das transformações urbanas indica que o potencial de crescimento se concentra nas interfaces do urbano com o não-urbano e do mais urbanizado com o menos urbanizado;

b) exclusão e concentração são parciais na borda da cidade: a hipótese levantada neste artigo, de que na borda ocorre simultaneamente exclusão e concentração, está parcialmente confirmada; se por um lado se confirma a rarefação de centralidades nesse limite entre o espaço urbano e o não urbano, de modo extensivo, por outro pode ser observado que, embora a concentração de potencial ocupe o espaço definido como borda, aparecendo altos e médios valores de potencial intercalados;

c) uma “segunda onda” pode ser observada no crescimento urbano: os experimentos sugerem a formação de duas frentes que concentram potencial de mudança, neste trabalho apelidadas de “ondas”; enquanto que a “primeira onda” parece concentrar os menores valores de centralidade, a segunda tende a concentrar os maiores valores de potencial de mudança, como se a “primeira onda” fosse a precursora e arcasse com os ônus iniciais da urbanização e como se “segunda onda” fosse a sucessora, aproveitando possíveis vantagens geradas pela onda anterior; essa conclusão final, todavia, serve mais como uma nova hipótese a ser testada, o que pode ser pauta de futuros trabalhos.

REFERÊNCIAS

- ALBERTI, M. *Modeling the urban ecosystem: a conceptual framework*. In: Environment and Planning B – Planning and Design v. 26. London: Pion, 1999. p. 605-630.
- AXELROD, R. *Advancing the art of simulation in the social sciences. International Conference on Computer Simulation and the Social Sciences*. Cortona, Italy, 1997. 12 p.
- AXELROD, R. *Advancing the art of simulation in the social sciences*. International Conference on Computer Simulation and the Social Sciences. Cortona, Italy, 1997. 12p.
- BATTY, M. (1998). *Urban evolution on the desktop: simulation with the use of extended cellular automata*. Environment and Planning A, v. 30. p. 1943-1967.
- BATTY, M.; COUCLELIS, EICHEN, M. *Urban system as cellular automata*. Environment and Planning B: Planning and Design 24(2). London: Pion, 1997. p. 159-164.
- BATTY, M.; XIE Y. *From cells to cities*. Environment and Planning B, Vol. 21, 1994. p. s31-s48.
- BAYÓN, D.; GASPARINI, P. *Panorámica de la Arquitectura Latino-Americana*. Barcelona: Blume-Unesco, 1977. 215p.
- CZAMANSKI, D. e outros. *Urban sprawl and ecosystems: can nature survive?* In: International review of environmental and resource economics, 2008. p.321-366.
- GRECO, A. *A nova ciência de Stephen Wolfran*. Folha de São Paulo Mais! de 30 de junho de 2002. p. 20-22.
- JOHNSON, S. *Emergência: a vida integrada de formigas, cérebros, cidades, softwares*. Tradução de Maria C. P. Dias. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed, 2003. 231p.
- MADDOX, J. *Simulating the Replication of Life*. Nature n. 305. 1983.
- O’SULLIVAN, D.; TORRENS, M. *Cellular models of urban systems*. London: Casa, UCL, 2000. 11p.



- POLIDORI, M. *Crescimento urbano e ambiente: um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade*. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS-PPGECO, 2004. 328 p.
- POLIDORI, M. *Simulação do Ambiente da Cidade*. Anais X Encontro Nacional da ANPUR. Belo Horizonte: ANPUR, 2003. 20p.
- PORTUGALI, J. *Self-organizing cities*. Futures, v. 29 nº 4/5. Great Britain: Elsevier Science, p.353-380. 1997.
- SARAIVA, Marcus; POLIDORI, Maurício. Software CityCell® 2013. Pelotas: Laboratório de Urbanismo da FAUrb – UFPel.
- TORALLES, C.; POLIDORI, M.; SARAIVA, M. *Crescimento periférico e ambiente natural: modelagem e simulação da dinâmica socio-espacial urbana no sul do Brasil*. In: AFONSO, Maria e SÁNCHEZ, Rosa: Libro de Resúmenes del I Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología Ambiental, y I Congreso Nacional de la Sociedad Argentina de Ciencia y Tecnología Ambiental. La Plata (Argentina): SACTA. 2012. 14p.
- TORRENS, P. *How cellular models of urban systems work*. London: Casa, UCL, 2000. 68 p.
- VILLAÇA, F. *Espaço intra-urbano no Brasil*. São Paulo: Studio Nobel e FAPESP, Lincoln Institute, 2001.
- WARD, D.P.; MURRAY, A.T.; PHINN, S.R. *A stochastically constrained cellular model of urban growth*. Computers, Environment and Urban Systems v. 24, 2000. p. 539-558.
- WHITE, R; ENGELEN, G. *High-resolution integrated of the spatial dynamics of urban and regional systems*. Computers, Environment and Urban Systems v. 24, 2000. p. 383-400.
- WOLFRAN, S. *Two-dimensional cellular automata*. London: Stephen Wolfran Publications, 1985.
- WU, F. *A linguistic cellular automata simulation approach for sustainable land development in a fast growin region*. Computers, Environment and Urban Systems Vol. 20(6), 1996. p. 367-387.