

## CRESCIMENTO URBANO, FORMAÇÃO DE PERIFERIAS E MODELAGEM URBANA COM AUTÔMATOS CELULARES

M. C. Polidori, O. M. Peres, M. V. P. Saraiva, F. Tomiello

### RESUMO

O crescimento urbano das cidades têm sido objeto de estudo continuado nas últimas décadas, particularmente pela formação das chamadas periferias urbanas em países da América do Sul e do fenômeno conhecido como *urban sprawl*, na América do Norte. Modelos e simulações de base morfológica têm sido utilizados como ferramentas para produzir conhecimento sobre crescimento sobre a cidade, assumindo que sua estrutura formal é portadora dos processos econômicos, políticos e culturais ideológicos interagentes. Nesse caminho, este trabalho apresenta um experimento com simulações de crescimento dedicadas a replicar a formação de periferias urbanas pobres, fragmentadas e nas bordas da cidade, bem como de urbanizações nucleadas e remotas às áreas efetivamente urbanizadas, produzidas e dedicadas por grupos sócio-econômicos de extratos superiores. Os resultados sugerem que a formação de periferias de baixa renda e as urbanizações remotas conhecidas como *urban sprawl* podem ser capturadas e replicadas ao serem considerados conjuntamente fatores urbanos e naturais, representados pelo processo de formação desigual e concentrador do tecido urbano e pela capacidade de o ambiente não urbanizado atrair ou repulsar determinados tipos de consumidores.

### 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

No processo de crescimento urbano das cidades atuais, uma questão relevante que emerge é a da segregação sócio-espacial, a qual pode ser estudada através de indicadores de concentração e de superposição de facilidades urbanas, de formas construídas e de características do ambiente natural. Nesse caminho, as periferias pobres tendem a aparecer dispersas pela cidade, em áreas com concentração de facilidades urbanas e baixa qualidade do ambiente natural, em oposição às periferias de renda elevada, que tendem a ocorrer em núcleos com facilidades urbanas rarefeitas, porém com relevantes qualidades do ambiente natural. O uso continuado de exercícios de modelagem indica o aparecimento de padrões espaciais vinculados a localização e forma, podendo participar de processos de tomada de decisão, especialmente daqueles dedicados a agenciar a conversão de território não urbanizado em urbanizado, testar medidas e contra-medidas, combater vicissitudes e contribuir para a mudança, para a produção de cidades com mais equidade e dignidade para todos.

Resultados obtidos mediante simulações de crescimento urbano com suporte em autômatos celulares, como os que vêm sendo realizadas no Laboratório de Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, Brasil, com o uso do software SACI – Simulador do Ambiente da Cidade (disponível em <http://www.ufpel.edu.br/faurb/laburb/>) sugerem que a formação de periferias de baixa renda e as urbanizações remotas conhecidas como *urban sprawl* podem ser capturadas e replicadas ao serem considerados conjuntamente fatores urbanos e naturais, representados pelo processo de formação desigual e concentrador do tecido urbano e pela capacidade de o ambiente não urbanizado atrair ou repulsar determinados tipos de consumidores.

Sendo deste modo, este trabalho apresenta experimentos em campos de teste abstratos, simulando a formação de periferias urbanas e identificando padrões espaciais, com dois objetivos principais: a) verificar a possibilidade de modelar o aparecimento de periferias urbanas, trabalhando simultaneamente com formação das chamadas periferias urbanas em países da América do Sul e com o fenômeno conhecido como *urban sprawl*, na América do Norte; b) identificar as características morfológicas do tecido resultante, o que é feito através de representações típicas de autômato celular, mediante grid, células e suas modificações. O trabalho segue o método de simulação construído por Polidori (2004), como aparece em síntese nos subtítulos adiante.

## 2. MODELANDO CRESCIMENTO URBANO

Esforços importantes têm sido empreendidos para melhorar a compreensão sobre os mecanismos de produção e de reprodução da cidade, como é o caso das idéias vinculadas ao desenvolvimento desigual (como enunciado por Harvey, 1985 e 1989), à auto-organização (como os trabalhos desenvolvidos por Holland, 1998 e por Portugali, 1997 e 2000) e aos estudos sobre sistemas complexos (Allen, 1997; O'Sullivan, 2001). Na mesma direção, estudos de morfologia urbana têm representado satisfatoriamente a cidade pelo espaço construído, através de métodos de diferenciação capazes de descrever e de medir o desempenho de um determinado estado da cidade num determinado tempo, considerando as formas construídas e suas conexões através dos espaços abertos ou públicos (Tekleberg, Timmermans e Borges, 1997). Nessa direção, a estrutura urbana pode ser representada por diferentes graus de centralidade, cujos valores estão correlacionados com vários indicadores de atividade do sistema urbano, como presença de pedestres, fluxo de veículos, concentração de atividades comerciais e dotação de infra-estrutura, podendo ser tomada como um indicador de qualificação locacional (Krafta, 1999).

A medida de centralidade pode ainda ser tomada como um indicador de desequilíbrio do sistema espacial, ou seja, um indicador de sua dinâmica. A distribuição de centralidade urbana constitui uma topografia em que os picos assinalam localizações de convergência de interesse, movimento e valor urbano, e os vales identificam regiões de baixo valor, interesse e atratividade. Essa topografia denota diferentes graus de agenciamento social do espaço e identifica na interface dos vales com os picos as oportunidades de desenvolvimento de áreas urbanas ainda pouco agenciadas, portanto disponíveis. Dessa forma, a distribuição de centralidade configura uma paisagem de oportunidades de produção de renda imobiliária num cenário em que a produção do espaço é tomada como atividade econômica. Como sugere Harvey (1985), vantagens locais poderiam ser consideradas como inovações tecnológicas, transformando-se em possibilidade de lucro excedente; deste modo, os produtores urbanos procedem de modo semelhante aos demais produtores no mercado capitalista, buscando permanentemente inovações tecnológicas, dentre as quais estão as inovações ou invenções de localização. Como essas descobertas locais são prontamente seguidas pelos demais competidores, o processo torna-se iterativo, permanente e complexo, pois as vantagens iniciais tendem a mudar com a dinâmica urbana. Sendo assim, maiores potenciais de mudança se concentram onde houver maior diferença entre valores de centralidade entre um lugar e seu entorno, juntando vantagens de localização com menor custo do solo, de modo a reproduzir a referida invenção de localização e a conseqüente maximização de renda.

Estudos de ecologia de paisagem vêm absorvendo conceitos de acessibilidade e desenvolvendo modelos derivados das experiências com o espaço urbano, aplicando técnicas de resistência mínima acumulada (como está em Yu, 1996), utilizando operações semelhantes às usadas em modelos dedicados ao espaço urbanizado, o que pode ser resumido como resistência espacial. Em caminho semelhante estão trabalhos dedicados a avaliar paisagens para a conserva-

ção ambiental, indicando um gradiente de valor ecológico e de impacto de atividades para diferentes usos do solo (Spellerberg, 1994:213-216). Noutras palavras, o espaço que intermedeia tensões de crescimento urbano exerce papel de restritor ou facilitador, participando ativamente do sistema.

Modelagem urbana tem sido usada satisfatoriamente para representar a cidade de modo simplificado (Martin, March e Echenique, 1972), facilitando a compreensão de determinados aspectos e suas relações com o conjunto. Mesmo assim, modelar mudança e crescimento urbano tem sido um desafio para a pesquisa contemporânea, reunindo esforços de diversos campos do conhecimento, como é o caso dos modelos de representação de sistemas ecológicos dinâmicos, como os propostos por Parton (1996) e por Waddell e Alberti (1998), dos modelos de conversão de território não urbanizado em urbanizado, como os propostos por Clarke, Hoppen e Gaydos (1997) e por Xie e Sun (2000) e dos modelos de alteração no uso do solo, como os propostos por Arai e Akiyama (2004) e por Liu e Andersson (2004). Ao tratar de crescimento urbano, interessa representar o processo de produção espacial, convertendo solo não urbanizado em urbanizado e acrescentando (ou substituindo) edificações, capturando fisicamente o processo de evolução urbana.

Em síntese, é possível então representar a cidade como um campo de oportunidades de obtenção de renda, mediadas pelo espaço, o qual é composto integradamente por atributos urbanos, naturais e institucionais, que funcionam como atração ou como resistências para o crescimento urbano. A configuração espacial e a distribuição desses atributos geram tensões que diferenciam o espaço qualitativa e quantitativamente – através da medida de centralidade, vindo a provocar crescimento em lugares com maior potencial de desenvolvimento. Crescimentos acima de determinados limiares podem ser considerados problemas ambientais, gerados e superados no mesmo processo de produção do espaço urbano. Iterações desse processo oferecem um comportamento dinâmico ao sistema, posto que a realização dos potenciais implica em novos valores de centralidade e assim sucessivamente.

Uma vez capturado esse processo dinâmico do sistema urbano, uma possibilidade é explorar cenários de futuro, ajustando o modelo para que o crescimento urbano seja direcionado de modo a especular sobre tecidos urbanos possíveis e a aproximar de casos reais (Echenique, 1999), o que no ambiente do modelo pode ser traduzido na possibilidade de regular as distribuição das tensões de modo axial, polar e difuso, onde diferentes tipos de distribuições de tensões geram diferentes tipos de crescimento urbano.

Formas de crescimento difuso podem estar orientadas por sorteio probabilístico da distribuição das tensões de crescimento, com pelo menos dois modos distintos: a) capturando a produção formal do espaço urbano, que se orienta pelas demandas das classes econômicas superiores; no ambiente do modelo, a probabilidade de uma célula ser sorteada e receber uma fração de tensão espacial é inversamente proporcional a sua centralidade e diretamente proporcional a sua resistência no tempo anterior (o aparece adiante como “tensões difusas de tipo 1”); b) capturando a produção informal do espaço urbano, que se orienta pelas demandas das classes econômicas inferiores; no ambiente do modelo, a probabilidade de uma célula ser sorteada e receber uma fração de tensão espacial é diretamente proporcional a sua centralidade e inversamente proporcional a sua resistência no tempo anterior (o que aparece adiante como “tensões difusas de tipo 2”).

Desta forma, estudos de crescimento urbano dedicados a identificar lógicas sócio-espaciais da produção do espaço podem explorar as formas de crescimento difuso, uma vez que essas se credenciam a revelar a emergência de padrões locais de agentes com modos diferentes de atuar na produção espacial, considerando junto fatores urbanos, naturais e institucionais.

Se por um outro lado o modelo de simulação de crescimento urbano utilizado neste trabalho acumula experimentações em pesquisas com objetivo de consolidá-lo como uma ferramenta científica, através de aplicações dedicadas a especular sobre cenários futuros, por outro podem ser identificadas diversas possibilidades para auxiliar na compreensão da realidade e na identificação de padrões sócio-espaciais. Uma dessas questões é a da segregação sócio-espacial, a qual pode ser estudada através de indicadores de concentração de edificações e de facilidades urbanas, o que pode ser medido pelos outputs do modelo denominados carregamentos urbanos e centralidades relativas; enquanto que os primeiros podem ser assumidos como descritores dos estoques construídos, os segundos podem emular o grau de concentração dos benefícios da urbanização (Polidori e Krafta, 2004; Polidori, 2007). Ademais, a idéia aqui é de explorar as possibilidades estocásticas no modelo de simulação, o que aparece como um campo aberto de possibilidades. Sendo deste modo, e assumindo que o modelo vem sendo usado com sucesso em exercícios especulativos e preditivos, os estudos propostos pretendem avançar na destinação das simulações para questões de segregação manifestas espacialmente, vindo a auxiliar na compreensão do fenômeno urbano e, principalmente, na tomada de decisão para as transformações nas cidades do futuro.

O modelo de crescimento urbano SACI – Simulador do Ambiente da Cidade, conforme proposto por Polidori (2004), pode ser operado como uma ferramenta de pesquisa do campo da configuração urbana, possibilitando estudos de simulação de crescimento urbano e capturando lógicas de produção social do espaço urbano, o que permite especular sobre cenários de futuro a partir da utilização das idéias de centralidade e potencial originalmente concebidas por Krafta, (1999). Esse modelo de crescimento é construído a partir do uso conjunto de teoria de grafos, autômato celular, geotecnologias e modelagem adaptativa (respectivamente Torrens, 2000; Buzai, 1999). O uso conjunto de grafos e autômato celular implica na utilização de um modelo híbrido, onde os resultados recebem simultaneamente influências de relações globais e locais do sistema urbano; o uso de geotecnologias vai contribuir no ingresso de informações através de um SIG, do processamento e do output em formato de grids, os quais são compatíveis com os autômatos celulares; a idéia de modelagem adaptativa aponta para um modelo regulável, com possibilidades de ajuste pelo usuário e de ingresso de dados conforme os interesses dos projetos e da disponibilidade de dados.

### 3. FORMAÇÃO DE PERIFERIAS URBANAS

Periferias urbanas podem ser compreendidas pelos seus aspectos sócio-econômicos e morfológicos, sendo predominantemente habitadas por população de baixa renda e tradicionalmente localizadas nos lugares mais distantes do centro da cidade, concentrando piores condições de infra-estrutura, de serviços, de equipamentos e de facilidades urbanas de um modo geral (Fernandes, 1997). Esse significado pode ser alargado ao considerar também como periferia urbana as ocupações remotas habitadas por população em quaisquer classes de renda, o que inclui desde as franjas com má qualidade de urbanização, comuns nos países latino-americanos (Bayón e Gasparini, 1977), até os novos núcleos sem continuidade com o tecido da cidade preexistente, conhecidos como *urban sprawl* na América do Norte (Frank, 2000).

No modelo SACI – Simulador do Ambiente da Cidade, conforme foi exposto anteriormente, periferias urbanas podem ser simuladas através da distribuição de tensões difusas de crescimento, assumindo que sua formação é probabilística e dependente da distribuição de centralidades e de resistências naturais ao crescimento urbano, como foi citado anteriormente, do seguinte modo: a) a probabilidade de ocorrer formação de periferias de média-alta e de alta renda é diretamente proporcional a baixas centralidades e a baixas resistências naturais; b) a pro-

abilidade de haver formação de periferia de baixa renda é diretamente proporcional a altas centralidades e a altas resistências naturais;. Na regulagem padrão do modelo estão alocadas 20% das tensões para o primeiro caso e 20% para o segundo caso (através das tensões difusas de tipo 1 e de tipo 2, respectivamente), somando 40% para as tensões difusas, sendo alocados os mesmos 20% para as distribuições de tensões axiais, axiais de buffer e polares, resultando a soma total em 100%.

Para simular a formação de periferias urbanas e observar seus efeitos no sistema urbano em crescimento, está realizado um experimento com três casos: a) crescimento com distribuição de tensões igual a 20% para todos os tipos (axiais, axiais de buffer, polares, difusas de tipo 1 e difusas de tipo 2), que é o padrão do modelo (Fig. 2); b) crescimento com distribuição de tensões igual a 100% para as difusas de tipo 1, que representam maior probabilidade de haver formação de periferia de média-alta e alta renda (Fig. 3); c) crescimento com distribuição de tensões igual a 100% para as difusas de tipo 2, que representam maior probabilidade de ocorrer formação de periferias de baixa renda (Fig. 4). As simulações utilizam os carregamentos e as resistências mostrados na Fig.1, abaixo, num grid de 20 por 28, com 560 células, estando os grids com os resultados e as interpretações na seqüência. Para obter os resultados foram geradas simulações com 40 iterações, estando a seguir slides com a iteração inicial e de número 32, que podem ilustrar as diferenças entre os experimentos.

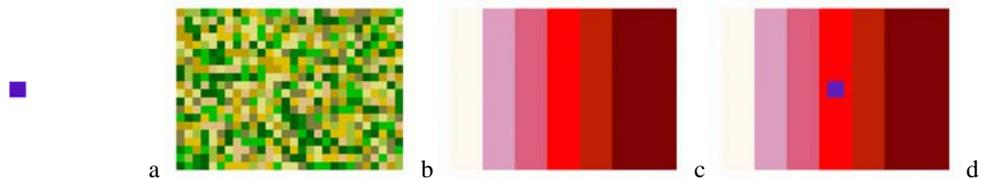


Fig.1 Inputs utilizados no experimento com variações no valor das tensões, para simular formação de periferias; a) carregamentos com valor igual a 1, com quatro células no centro do grid; b) resistências aleatórias com valores de 1 a 2; c) resistências com valores de 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7; d) superposição dos carregamentos e das resistências com valores de 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7.

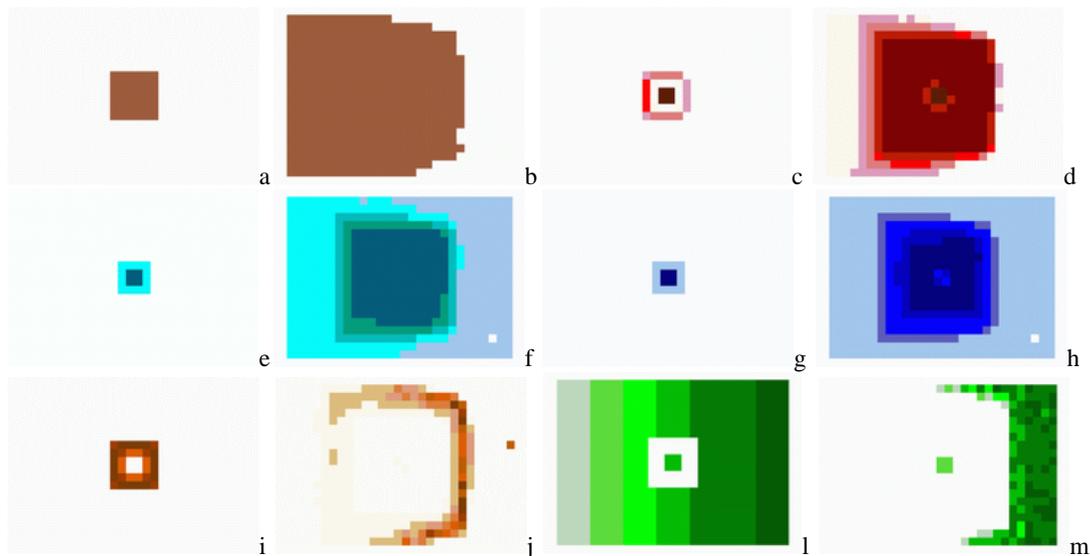


Fig.2 Outputs das simulações com distribuições de tensões de 20% para todos os tipos (axial, axial de buffer, polar, difuso tipo 1 e difuso tipo 2); a) células urbanas na iteração 1; b) células urbanas na iteração 32; c) carregamentos urbanos na iteração 1; d) carregamentos urbanos na iteração 32; e) centralidade na iteração 1; f) centralidade na iteração 32; g) centralidade normalizada na iteração 1; h) centralidade normalizada na iteração 32; i) potencial na iteração 1; j) potencial na iteração 32; l) atributos naturais na iteração 1; m) atributos naturais na iteração 32.

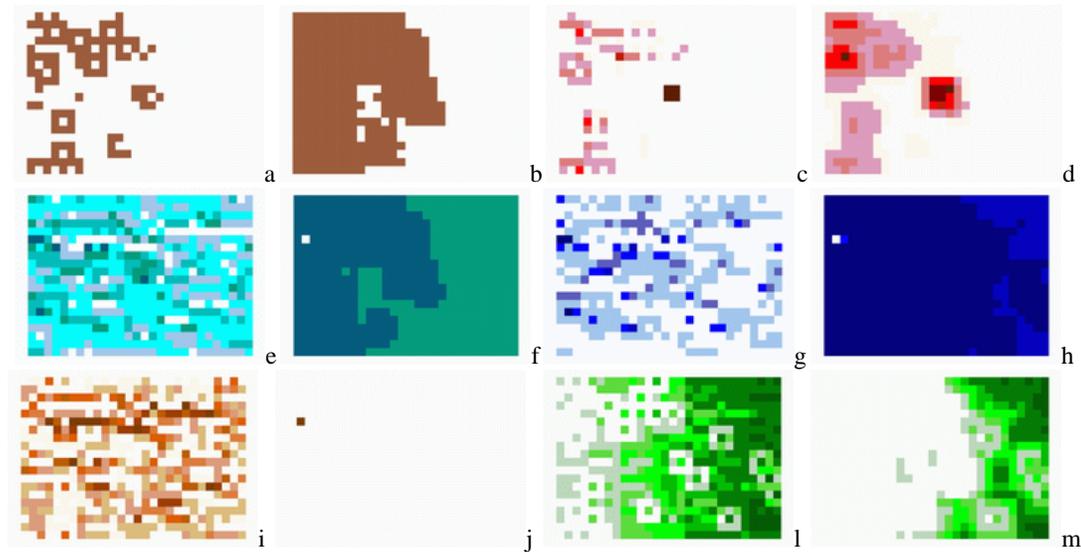


Fig. 3 Outputs das simulações com distribuições de tensões de 100% para difuso tipo 1; a) células urbanas na iteração 1; b) células urbanas na iteração 32; c) carregamentos urbanos na iteração 1; d) carregamentos urbanos na iteração 32; e) centralidade na iteração 1; f) centralidade na iteração 32; g) centralidade normalizada na iteração 1; h) centralidade normalizada na iteração 32; i) potencial na iteração 1; j) potencial na iteração 32; l) atributos naturais na iteração 1; m) atributos naturais na iteração 32.

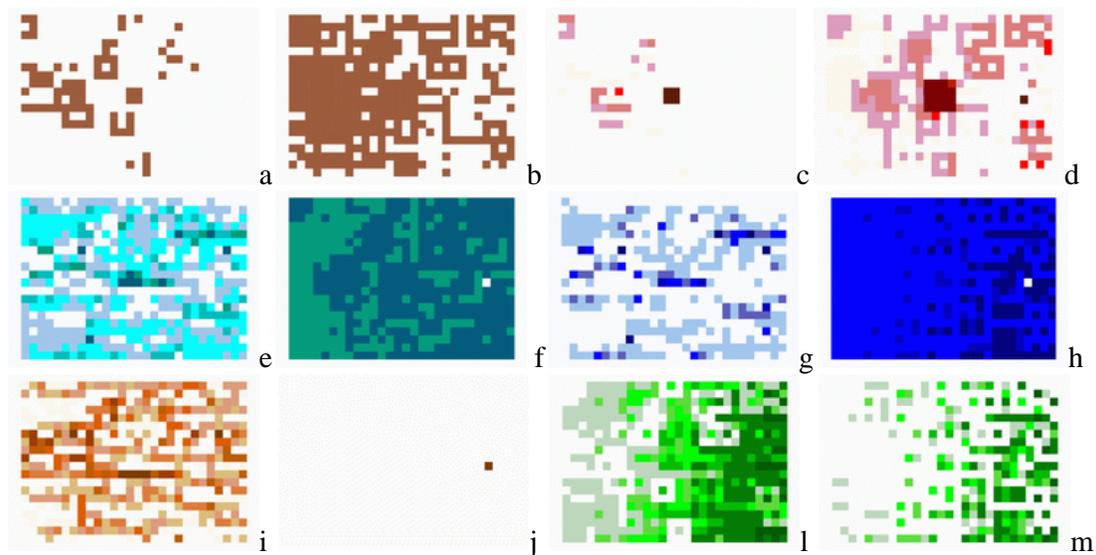


Fig. 4 Outputs das simulações com distribuições de tensões de 100% para difuso tipo 2; a) células urbanas na iteração 1; b) células urbanas na iteração 32; c) carregamentos urbanos na iteração 1; d) carregamentos urbanos na iteração 32; e) centralidade na iteração 1; f) centralidade na iteração 32; g) centralidade normalizada na iteração 1; h) centralidade normalizada na iteração 32; i) potencial na iteração 1; j) potencial na iteração 32; l) atributos naturais na iteração 1; m) atributos naturais na iteração 32.

O caso simulado com 20% de distribuição para todos os tipos de tensões é o padrão do modelo (Fig. 2), o qual já inclui 20% para as distribuições difusas de tipo 1 e 20% para as difusas de tipo 2; esse experimento serve aqui como controle, para ser comparado com os que consideram exclusivamente as tensões difusas como geradoras de crescimento, encarregadas de simular periferias urbanas de modo dedicado. Os resultados mostram uma mancha urbana

contínua e homogênea tendendo à esquerda do grid (Fig. 2 a, b), onde as resistências têm valor inicial menor; desse modo assimétrico se comportam os carregamentos urbanos e a distribuição de centralidades, com máximos localizados na área central do grid (Fig. 2 c, d, e, f, g, h); os potenciais máximos assumem a forma de linha de borda e se acumulam na interface da zona urbanizada com a não urbanizada; por fim as resistências mudam do gradiente implementado no input para restar à direita do grid, em oposição à área urbanizada final.

O segundo caso simulado está regulado para simular crescimento utilizando 100% da distribuição de tensões como difusas de tipo 1, cuja localização é probabilística e proporcional às menores resistências e às menores centralidades; o experimento representa a formação de ocupações características de classes econômicas média-alta e alta, semelhante ao padrão conhecido como *urban sprawl*. Todos os outputs diferem do caso anterior, com as seguintes características principais (Fig. 3): a) as células com fenótipo urbano vão aparecendo de modo difuso, chegando ao final da simulação com a presença de descontinuidades internas, embora concentradas à esquerda do grid, em função do original acúmulo de menores resistências e da formação de maiores centralidades; b) os carregamentos urbanos se mantêm fragmentados durante toda a simulação, chegando ao final com uma típica configuração de *urban sprawl*, onde valores elevados de estoques construídos se localizam na periferia e com independência locacional dos máximos de áreas geometricamente centrais; c) a distribuição de centralidades inicia fragmentada e tende a se tornar menos diferenciada ao final da simulação, com os valores maiores tendendo para as mesmas áreas de acúmulo de células urbanas e de carregamentos máximos; d) os potenciais de crescimento são difusos durante toda a simulação, tendendo à minimização por diminuição de diferenciação espacial, provocada pela repetição do padrão de dispersão do experimento; e) embora sem a homogeneidade do caso anterior, as resistências naturais tendem ao lado direito do grid, em oposição ao agrupamento de células urbanizadas.

O terceiro caso simulado utiliza 100% da distribuição de tensões como difusas de tipo 2, cuja localização é probabilística e proporcional às maiores resistências e às maiores centralidades, correspondendo à formação de periferias de classes econômicas baixas, freqüentemente referidas como espaços urbanos de segregação espacial (Lago, 2000). Os resultados são diferentes dos dois casos anteriores, podendo ser destacadas as seguintes características principais (Fig. 4): a) as células convertidas para o fenótipo urbano mantêm um padrão difuso durante toda a simulação, de modo mais intenso do que caso anterior; é notável como nesse experimento, diferentemente dos dois casos anteriores, ocorre elevada conversão de células onde as resistências são maiores (área direita do grid), conforme condições iniciais da simulação; b) os carregamentos urbanos também se mantêm difusos durante toda a simulação, resultando num padrão de acúmulo de valores máximos na área geometricamente central (onde estavam as células urbanas que originaram a simulação), associado à presença de células com carregamento médio espalhadas pelo grid e com localização migrante da área de menores resistências para maiores resistências (da esquerda para a direita); esse resultado permite três observações, a saber: b.1) a formação de periferias de baixa renda não determina deslocamento na implantação dos estoques construídos em área centrais, mas sim contribui para sua concentração; b.2) ao início da simulação os carregamentos urbanos pendem para o lado das menores resistências, porém migram em maioria para o lado das maiores, o que pode estar associado ao processo de ocupação e edificação em áreas crescentemente mais distantes das preexistentes, o que tem sido chamado de processo de expulsão por diversos autores (Maricato, 1979, Piquet e Ribeiro, 1991); b3) a localização dos estoques construídos é mais instável e com maior variação entre as células contíguas do que nos casos anteriores, o que pode estar associado à menor durabilidade edilícia e aos processos de renovação urbana (Lamas, 1993); c) embora a ligeira tendência de concentração para o lado direito do grid, a distribuição de centralidades mantêm um padrão difuso durante toda a simulação; uma diferença fundamental dos casos anteriores é a relação com a conversão de território, que ocorre com maior freqüência no lado

oposto dos maiores valores de centralidade, como pode ser constatado comparando os estados finais da simulação (Fig. 4 b, h); d) o padrão de localização dos potenciais de crescimento é muito semelhante ao do caso anterior, embora com inversão nos sítios de máximos e mínimos, conforme esperado (Fig. 4 i, j); por fim as resistências resultam numa distribuição mais fragmentada que nos casos anteriores, em função da dispersão dos potenciais de crescimento.

Como aparece no experimento, a possibilidade de implementar distribuição de tensões difusas permite aproximar as simulações da formação de periferias urbanas, induzindo a formação de núcleos remotos em relação ao centro que origina o crescimento e seguindo dois padrões, cada um com três características principais: a) padrão de periferia de classes econômicas média-alta e alta, que preferem os lugares com melhores condições naturais, importando menos a concentração de facilidades urbanas (Fig. 3); suas principais características são as seguintes: a.1) conversão de células para o fenótipo urbano concentradas em lugares mais qualificados; a.2) carregamentos urbanos polinucleados, com máximos no centro e em focos remotos; a.3) distribuição de centralidades homogênea; a.4) potencial e resistências difusos; b) padrão de periferia de classes econômicas baixa, que normalmente ocupam os lugares com condições naturais mais restritivas e menor custo de aquisição (Fig. 4); suas características principais são as seguintes: b.1) conversão de células para o fenótipo urbano em padrão difuso e com elevada frequência em áreas menos qualificadas; b.2) carregamentos urbanos concentrados no centro e difusos no resto do grid; b.3) distribuição de centralidade difusa; b.4) potencial e resistências difusos.

Considerando os resultados anteriores, diferentes padrões de dispersão de células urbanas e de concentração dos carregamentos podem ser assumidos como indicadores de formação de periferias urbanas por classes de renda, sendo que: a) no caso das classes de renda mais elevada, as células urbanas resultam menos dispersas e os carregamentos mais concentrados, b) no caso das classes de renda menos elevada, tanto a conversão para o fenótipo urbano como os carregamentos são mais dispersos e menos concentrados (Fig.5 a, b, a seguir).

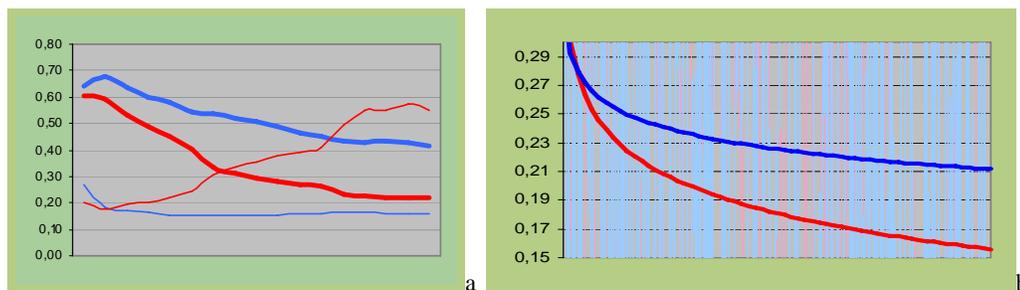


Fig. 5 Comparação dos resultados das simulação para o caso de periferias do tipo *urban sprawl* (traço vermelho) e tipo ocupação de baixa renda (traço azul); a) fragmentação relativa (traço largo) e compacidade relativa (traço fino), em 32 iterações; b) valor do carregamento urbano na iteração 32, mostrando as linhas de tendência (traço largo, em primeiro plano) e o valor para cada célula (traço fino, em segundo plano).

#### 4. Conclusão

Considerando os padrões de resultados obtidos nas simulações que destacam a formação de periferias urbanas, suas localizações podem ser encontradas superpondo mapas de carregamentos urbanos e centralidades, assumindo que: a) periferias ocupadas por população de média-alta e alta renda do tipo *urban sprawl* aparecem onde há valores médios de carregamento urbano com baixa centralidade; b) periferias ocupadas por população de baixa-renda aparecem onde há valores baixos de carregamento urbano e de elevada centralidade. A Fig 6, abaixo, revela essas localizações, através álgebra de mapas.

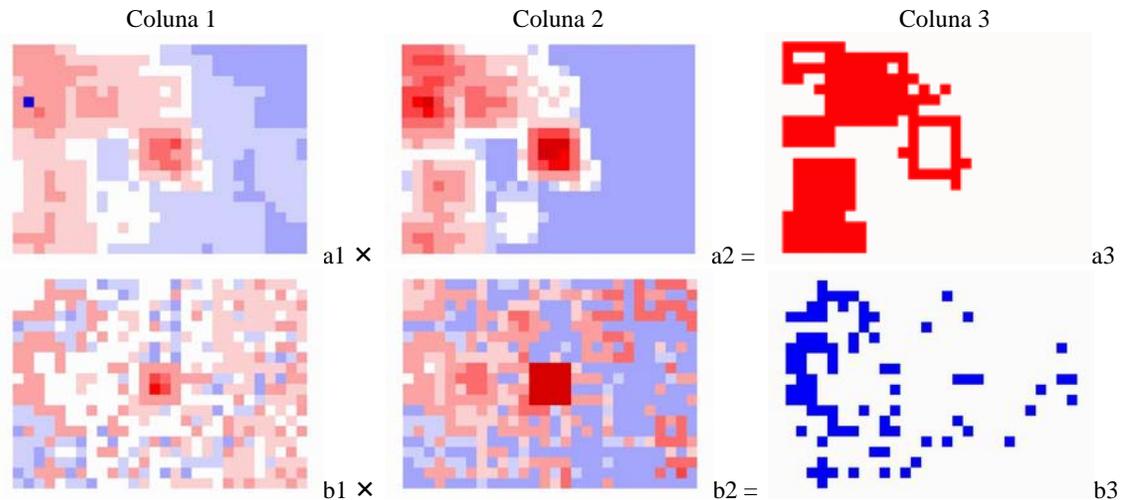


Fig. 6 Localização provável de periferias urbanas (slides da coluna 3), considerando a distribuição centralidades (slides da coluna 1) carregamentos urbanos (slides da coluna 2), a partir de álgebra de mapas, na iteração 32; a) para o caso de periferias do tipo urban sprawl; b) para o caso de periferias do tipo baixa renda; pra melhorar a nitidez, os carregamentos urbanos e as centralidades estão mostrados por 1/4 do desvio padrão da média; os resultados estão mostrados de modo booleano.

É notável em todos os experimentos realizados neste trabalho como aparece um comportamento diferenciado para a interface do ambiente urbanizado com o não urbanizado, lugar que vem sendo denominado freqüentemente de franjas urbanas ou, em dinâmica de autômatos celulares, de *edge of chaos* (respectivamente Bazant, 2001 e Eck, 2004), sugerindo que peculiaridades dessa interface podem ajudar a compreender a lógica configuracional das periferias urbanas; nesse caminho, é possível assumir que a dinâmica urbana e a configuração resultante induzem o aparecimento de periferias na borda da cidade, o que pode ser interpretado como uma dimensão morfológica do processo de periferização.

## 5. Referências bibliográficas

- Allen, P. (1997). **Cities and regions as self-organizing systems: models of complexity**. Amsterdam: Gordon and Breach Science Publishers. 275 p.
- Arai, T.; Akiyama, T. (2004). **Empirical analysis for estimating land use transition potential functions—case in the Tokyo metropolitan region**. Computers, Environment and Urban Systems v. 28. p. 65-84. [ disponível em 17 de agosto de 2006 em [www.elsevier.com/locate/compenvurbsys](http://www.elsevier.com/locate/compenvurbsys) ]
- Bayón, D.; Gasparini, P. (1977). **Panorámica de la Arquitectura Latino-Americana**. Barcelona: Blume-Unesco. 215 p.
- Bazant, J. (2001). **Lineamientos para el ordenamiento territorial de las periferias urbanas de la ciudad de México**. Papeles de Población Vol. 27. p. 223-239. [ disponível em 17 de agosto de 2006 em <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/112/11202709.pdf> ]
- Buzai, G. D. (1999). **Geografía global: el paradigma geotecnológico y el espacio interdisciplinario en la interpretación del mundo del siglo XXI**. Buenos Aires: Lugar Editorial. 216 p.
- Clarke, K. C.; Hoppen, S.; Gaydos, L. (1997). **A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in San Francisco Bay area**. Environment and Planning B: Planning and Design 24. London: Pion. p. 247-262.



Paper final

Echenique, M. (1999). **SPARTACUS – System for Planning and Research in Towns and Cities for Urban Sustainability**. [ disponível em 14 de setembro de 2006 em <http://fpiv.meap.co.uk/fpiv/spartacu.htm> ]

Eck, D. J. (2004). **Cellular automata and the edge of chaos**. Hobart and William Smith Colleges [ disponível em 31 de agosto de 2006 em <http://math.hws.edu/xJava/CA/> ]

Fernandes, E. (1997). **Access to urban land and housing in Brazil: three degrees of illegality**. Lincoln Institute of Land Policy. 33 p. [ disponível em 31 de agosto de 2006, em <http://www.lincolnst.edu/pubs/pub-detail.asp?id=130> ]

Frank, N. (2000). **Exploring sprawl: findings of a comprehensive review of the literature related to “sprawl” or what do we really know ?** Association of Collegiate Schools of Planning, Atlanta, Georgia. [ disponível em 9 de setembro de 2003 em <http://www.wisconsinplanners.org/SmartGrowth/index.htm> ]

Harvey, D. (1985). **The urbanization of capital**. Oxford: Blackwells.

Harvey, D. (1989). **Condição pós-moderna**. Tradução de Adail Sobral e Maria Gonçalves. São Paulo: Loyola, 1993.

Holland, J. (1998). **Emergence: from chaos to order**. Redwood City, California: Addison-Wesley.

Krafta, R. (1999). **Spatial self-organization and the production of the city**. Urbana 24. Caracas: IFA/LUZ. p. 49-62.

Lago, L. (2000). **Estado del arte en los estudios de segregacion residencial urbana**. Rio de Janeiro: IPPUR. 9 p.

Lamas, J. (1993). **Morfologia urbana e desenho da cidade**. Lisboa: Dinalivro. 563 p.

Liu, X.; Andersson, C. (2004). **Assessing the impact of temporal dynamics on land-use change modeling**. Computers, Environment and Urban Systems v. 28. p. 107-124. [ disponível em [www.elsevier.com/locate/compenvurbsys](http://www.elsevier.com/locate/compenvurbsys) , em 02 de dezembro de 2003 ]

Maricato, E. (1979). **A Produção Capitalista da Casa e da Cidade no Brasil Industrial**. São Paulo: Alfa-Ômega.

Martin, L.; March, L.; Echenique, M. (1972). **La Estructura del Espacio Urbano**. Traducción de Francisco Molina. Barcelona: Ed. Gustavo Gilli, 1975. 376 p.

O’Sullivan, D. (2001). **Complex spatial systems: the modelling foundations of urban and regional analysis**. Environment and Planning B: Planning and Design 2001, Vol. 28. London: Pion. p. 475-478.

Parton, W. J. (1996). **The Century Model**. In: Evaluation of the Soil Organic Matter Models using Existing Long-term Datasets. Berlin: Springer. pp. 283-296.

Piquet, R.; Ribeiro, A. (1991). **Brasil, território da desigualdade: descaminhos da modernização**. Rio de Janeiro: Zahar.

Polidori, M. C. (2004). **Crescimento urbano e ambiente – Um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade**. Tese de Doutorado. Porto Alegre: UFRGS – PP-GECO. 352 p.

Polidori, M. C. (2007). **Crescimento urbano: emergência e padrões espaciais**. I Congresso Brasileiro de Geoprocessamento e XXIII Congresso Brasileiro de Cartografia. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto. 9 p.

Polidori, M. C.; Krafta, R. (2004). **Simulação de crescimento da cidade integrando fatores urbanos e naturais**. Seminário “A questão ambiental urbana: experiências e perspectivas”.



## Paper final

Mídia digital. Brasília: UnB, NEUR, CEAM - Institut de Recherche pour le Développement. 19 p.

Portugali, J. (1997). **Self-organizing cities**. Futures, v. 29 n° 4/5. Great Britain: Elsevier Science. p. 353-380.

Portugali, J. (2000). **Self-organization and the city**. Berlin: Springer. 352 p.

Spellerberg, I. F. (1994). **Evaluation and assessment for conservation**. New York: Chapman and Hall Inc. 259 p.

Tekleburg, J.; Timmermans, H.; Borges, A. (1997): Design tools in a integrated CAD-GIS environment: space syntax as an example. In: Timmermans, Harry (Ed). **Decision support systems in urban planning**. London: E & FN Spon. p. 261-276.

Torrens, P. (2000). **How land-use-transportation models work..** London: Casa, UCL. 75 p. [disponível em 19 de abril de 2002 em [http://www.casa.ucl.ac.uk/working\\_papers.htm](http://www.casa.ucl.ac.uk/working_papers.htm) ]

Wadell, P. ; Alberti, M. (1998). **Integration of an urban simulation model and an urban ecosystems model**. In: Proceedings of International Conference on Modeling Geographical and Environmental Systems with GIS.

Xie, Y.; Sun, Z. (2000). **Dynamic Urban Evolution Model Based on Cellular Automata**. Ypsilanti: Igre. [ disponível em 24 de janeiro de 2003 em <http://ceita.emich.edu> ]

Yu, K. (1996). **Security patterns and surface model in landscape ecological planning**. Landscape and urban planning, v. 36. Great Britain: Elsevier Science. p. 1-17.