

Modelos Urbanos baseados em Autômatos Celulares: integrando ambiente natural e o crescimento urbano.

Otávio M. Peres¹, Maurício C. Polidori²

^{1,2}Laboratório de Urbanismo – FAUrb - Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
Rua Benjamin Constant, 1359 – Sala 109 – CEP 96010-020 – Pelotas-RS

otmperes@gmail.com, mauricio.polidori@terra.com.br

Abstract. *This paper explores the use of cellular automata for simulation studies of urban growth, integrating urban natural and institutional factors. For this, simulations in a computer can be implemented, focusing on capturing morphologies and processes of change, which is particularly important in the conversion of land that occurs in urban expansion and the associated environmental changes. The model and software SACI – Simulador do Ambiente da Cidade[®], is considered as an alternative to operation of integrated simulations of urban growth to factors of environment, the tests are showing both the operational possibilities and the need to updates.*

Resumo. *Este trabalho explora a possibilidade de utilização de autômatos celulares para estudos de simulação de crescimento urbano, tratando de modo integrado fatores urbano, naturais e institucionais. Para isso, simulações em ambiente computacional podem ser implementadas, dedicadas a capturar morfologias e processos de mudança, o que é particularmente importante na conversão de solo que ocorre nas expansões urbanas e nas modificações ambientais associadas. O modelo e software SACI – Simulador do Ambiente da Cidade[®], está considerado, como alternativa para operacionalização de simulações de crescimento urbano integradas a fatores do ambiente natural, cujos testes vêm indicando, simultaneamente, as possibilidades operacionais e a necessidade de atualização.*

1. Introdução

Estudos dedicados à dinâmica urbana consideram que a cidade está em permanente mudança, onde alteram-se conjuntamente a cidade e a paisagem, provocando uma modificação no conjunto que integra o que pode ser chamado de crescimento urbano. O processo de crescimento urbano é de difícil apreensão pela quantidade elevada de fatores presentes na cidade e na paisagem, suas discretas interinfluências e seus diferentes horizontes temporais, o que indica que estudos com este propósito tenham suporte a partir da teoria de sistemas, estudos de modelagem, teorias de complexidade e de auto-organização, direcionadas para as questões da cidade (Polidori, 2004).

O avanço da urbanização sobre o meio natural tem causado a degradação progressiva das áreas de mananciais remanescentes e o crescimento da cidade nos países em desenvolvimento afeta diretamente os recursos hídricos em termos de qualidade e quantidade. Acrescenta-se ainda a idéia que os conflitos pelo uso da água não decorrem apenas da luta pelo recurso objetivamente escasso, mas também o comportamento histó-

rico dos seus agentes influi na conformação dos conflitos e a maneira como tradicionalmente ocorrem as intervenções transformam definitivamente as formas de acesso aos recursos hídricos (Braga, 2003; Ducrot, 2004 e Carneiro, 2004).

A tradição do planejamento do espaço da cidade tem sido a de trabalhar com a separação entre a cidade e o ambiente natural, entre o espaço urbanizado e o não urbanizado, pois enquanto que a maioria dos estudos de urbanismo limita-se às áreas construídas, as abordagens do planejamento ambiental têm dificuldade para incluir a realidade e a influência da cidade (Santos, 2004). Braga (2003) levanta que, dos principais fatores ligados à questão hídrica na cidade, representados pelo consumo dos recursos naturais, pelo despejo de resíduos no meio ambiente e pelas formas de uso e ocupação do solo; as políticas ambientais têm-se focado basicamente nos dois primeiros pontos, ficando o controle do uso e ocupação do solo urbano restrito ao campo do planejamento urbano. Sendo assim, pode ser esperado que importante parcela dos problemas ambientais nas cidades brasileiras estejam associados à desarticulação entre planejamento urbano e planejamento ambiental

Embora as tradições das abordagens do espaço urbano sejam de manter separadas cidade e ambiente, abordagens integradas podem qualificar a compreensão da cidade e da paisagem, bem como melhorar conceitos e práticas de planejamento urbano e ambiental (Polidori, 2004). Descobrir interfaces entre os diversos campos do conhecimento para uma abordagem integrada urbana e ambiental pode ser considerada uma tarefa urgente, na busca de contribuir para problemas de qualidade de vida. (Santos, 2004). Uma das possibilidades que tem sido buscada é inclusão das bacias e sub-bacias hidrográficas nas bases espaciais do planejamento urbano, de modo a participar na ordenação do uso do solo urbano e na gestão da produção espacial, aproximando o interesse pelos recursos naturais da realização da urbanização (ibidem).

Apesar de que esforços para compreender a realidade urbana e ambiental sejam realizados, poucos resultados são alcançados em relação as suas interinfluências, pois abordagens tradicionais da cidade são demasiadamente esquemáticas, não oferecendo elementos para representar os processos humanos e naturais de forma integrada. Um caminho de se articular estudos de crescimento urbano e impactos nos recursos naturais é de reproduzir a cidade e a paisagem artificialmente, a partir da utilização de modelos que abordem a complexidade das interações urbano-ecológicas (Alberti, 1999).

Neste sentido, o objetivo do presente trabalho é explorar as possibilidades de abordar integradamente a dinâmica do crescimento urbano e a gestão dos recursos hídricos através do uso de modelos e simulações de crescimento urbano. A busca por uma abordagem integrada do ambiente urbano e natural passa necessariamente por estudos dos processos dinâmicos e por modelos que possibilitem a inclusão tanto de fatores urbanos quanto de fatores do ambiente natural, o que pode ser buscado através de modelos baseados em Autômatos Celulares – CA. O trabalho considera o modelo e software SACI – Simulador do Ambiente da Cidade, como alternativa para operacionalização de simulações de crescimento urbano integradas a fatores do ambiente natural.

2. Modelagem Urbana e Autômatos Celulares

O uso de modelos para explorar questões urbanas e sugerir alternativas para o futuro das cidades tem encontrado progresso contemporaneamente. Nesse caminho, Axelrod

(1997) e estudiosos associados vêm argumentando que os modelos podem ser poderosas ferramentas para a ciência urbana, ao mesmo tempo que Batty (1998) e colaboradores têm apresentado inúmeras vantagens e possibilidades no uso de modelos para o estudo das cidades.

Modelos urbanos podem ser entendidos como representações de uma determinada realidade, onde esta representação se faz através da expressão de certas características relevantes, que consistem nos objetos ou sistemas que existem, existiram ou podem vir a existir no ambiente urbano (Echenique, 1975). Aos estudos de crescimento urbano, interessam representar o processo de evolução urbana através das funções e processos que configuram a estrutura espacial urbana. Neste contexto, modelos são essenciais para articular o presente e o futuro das cidades e geralmente estão relacionados a programas computacionais, os quais atuam como espécie de laboratório e o fenômeno urbano, após ser capturado, pode ser reproduzido experimentalmente através de simulações (Batty, 2009).

No processo de modelagem que busque integrar as abordagens dedicadas ao ambiente urbano com as formuladas para o ambiente natural, Polidori (2004) indica cinco caminhos, os quais estão baseados a partir da teoria de sistemas, teorias de complexidade e da auto-organização: a) estudos da cidade mediante cenários dinâmicos podem facilitar sua compreensão; b) as interinfluências entre os sistemas urbanos e naturais são cumulativas e retroalimentadas; c) os processos dinâmicos, cumulativos e retroalimentados podem induzir o aparecimento de padrões espaciais auto-organizados; d) a dinâmica urbana e suas relações com a paisagem demandam estudos em diferentes níveis de desagregação espacial, assumindo assim que mudanças na cidade e no ambiente atuem como fenômenos complexos; e) a continuidade secular da cidade sugere elevada capacidade de adaptação, onde mecanismos internos de produção são capazes de garantir sua permanência e durabilidade.

Neste sentido, a idéia de modelar processos dinâmicos do crescimento urbano integrando o sistema urbano e o ambiente natural a partir da teoria da cidade como um sistema complexo e auto-organizado pode ser buscada mediante o uso de técnicas de CA – autômatos celulares. CA possibilitam uma convergência operacional de modelagem do ambiente urbanizado e o não urbanizado por diferenciação morfológica, por resistência espacial e por análise de limiares; conceitos de interesse nos campos da morfologia urbana, ecologia da paisagem e ecologia urbana, respectivamente. Soma-se ainda a própria dinâmica dos CAs, a capacidade de capturar processos derivados da vizinhança espacial, a natural compatibilidade com os *grids* usados em SIGs – sistemas de informações geográficas, a crescente disponibilidade de imagens de satélite e a popularização de conhecimentos em geocomputação.

Para Portugali (2000), a atratividade de modelos CA ao estudo das cidades é praticamente evidente, tanto pela similaridade entre as unidades espaciais (lotes, quarteirões e células), quanto pelas possibilidades de se atribuírem valores a estas unidades espaciais e estes estarem relacionados a sua vizinhança imediata. Para esse potencial de utilização de CA a estudos da geografia e das cidades, Portugali sugere a utilização da expressão Geografia Celular (*Cellular Geography*, apud Tobler, 1979) e ressalta o aumento de estudos que utilizam esse tipo de modelagem aplicada a ciência urbana, com destaque para a edição especial do periódico *Environment and Plannig B: Planning and Design* 24,1997, dedicada aos CA aplicados aos sistemas urbanos.

Entretanto, para a aplicação das técnicas de CA à questão urbana, Torrens (2000), identifica algumas características nas técnicas originais de CA que podem ser considerados problemas a serem enfrentados na aplicação de modelos urbanos: a) em CAs padrão, o ambiente é considerado como fechado, onde influências externas não podem influenciar o modelo; b) a trama de células é definida como um plano infinito, onde as células de borda são consideradas vizinhas com as células da borda oposta; c) as vizinhanças de von Neumann e Moore são limitadas às células imediatamente adjacentes, dificultando interações macro-espaciais; d) o tempo é considerado uma unidade discreta, onde regras de transição são aplicadas a todas as células ao mesmo tempo; e) os modelos devem ter regras de transição abertas, permitindo que o CA urbano corresponda ao funcionamento das cidades.

Sendo assim, para possibilitar o uma melhor representação do ambiente da cidade e seu processo dinâmico de transformações, os CAs devem passar por um processo de adaptação de algumas de suas características, o que pode ser chamado de autômato celular estendido, sendo recorrentes as seguintes adaptações apresentadas por Polidori (2004): 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 pretendem simular.

2.1 Modelos Urbanos baseados em Autômatos Celulares

Avanços significativos sobre a utilização das possibilidades das técnicas de CAs à modelagem urbana têm sido apresentados durante as últimas décadas, inclusive esforços particularmente interessados no processo de crescimento urbano. Polidori (2004), a partir dos trabalhos de Simone Leão (2002) e Xie e Sun (2000), apresenta um resumo das características destas experiências que avançam no processo de adaptação de CAs ao crescimento urbano:

a) o modelo de White, Engelen e Uljee (1997) pode ser considerado como precursor na simulação utilizando autômato celular estendido à questão urbana, tendo sido construído através do caso da cidade de Cincinnati, nos EUA; considera seu estado e as características das células vizinhas (112 células, dispostas circularmente em relação à célula central, num raio igual a 6); estando sujeitas à transição em função de três variáveis: uso do solo urbano, topografia e acessibilidade; horizonte temporal das simulações está entre 15 e 25 anos; o tamanho das células é fixo, com 250 por 250 metros;

b) os mesmos autores aperfeiçoaram o trabalho anterior ao integrar variáveis sociais e naturais, buscando representar a dinâmica urbana das ilhas do Caribe; para isso desenvolveram o modelo chamado “The Island Model”, incluindo um sub-modelo demográfico-econômico e um sub-modelo climatológico; as células podem assumir seis usos humanos e cinco usos naturais; o horizonte temporal tem sido fixado em 40 anos;

c) Clarke, Hoppen e Gaydos (1997) desenvolveram o modelo “UGM” (Modelo de Crescimento Urbano); o modelo aponta probabilisticamente as células não urbanas que serão convertidas para urbanas; são assumidos quatro tipos de crescimento urbano: por expansão orgânica; por difusão; por modo espontâneo ou auto-geração; por influência do sistema viário; o processo de calibração é realizado através de técnicas de Monte Carlo, em três etapas, com desagregação espacial crescente (células de 200, depois 100 e depois 50 metros); o modelo pretende um horizonte temporal de 100 anos, tendo sido inicialmente aplicado ao caso da baía de São Francisco, depois à região de Washington e Baltimore, ambos nos EUA;

d) Wu (1996 e 1998) propôs o modelo conhecido como “SimLand”, com aplicação na cidade de Guangzhou, na China, integrando simulação com autômato celular, avaliação multicritérios e processos analíticos hierárquicos, num ambiente de SIG; as células podem assumir os estados de urbano e não-urbano, considerando uma vizinhança de 8 células (vizinhança de Moore) e três variáveis: áreas urbanizadas, áreas com distritos industriais e sistema viário; a taxa de crescimento e o grau de atratividade de cada variável são determinados pelo usuário;

e) o modelo concebido por Xie (1996), depois Xie e Sun (2000), é conhecido como “DUEM” (Modelo de Evolução e Dinâmica Urbana), pretendendo simular crescimento em cidades imaginárias e em cidades reais; as variáveis são o uso do solo e o sistema viário e a declividade, sendo que o modelo considera quatro estados possíveis para as células urbanas: habitacional, industrial, comercial, uso especial e vacante; esses estados sofrem quatro tipos de transições: duplicação, mutação, sobrevivência ou morte; a transformação celular é probabilística e controlada por regras de transição, de direção, de densidade e distância; o padrão de quantidades de células é de 257 por 359 e o raio de vizinhança é regulável, sendo a calibragem realizada por simulações iterativas e comparação com séries históricas;

f) o modelo de Li e Yeh (2000), depois Li e Yeh (2001), pretende auxiliar na indicação da melhor forma urbana para o desenvolvimento sustentável, conseguido através dos critérios de maximização da compacidade da área urbanizada e minimização de perdas de solos agriculturáveis, considerando probabilidades determinadas por quatro variáveis: uso do solo urbano, uso do solo não urbano, demografia e declividade; o modelo trabalha com células de 50m e vizinhança de 2 células ao redor da célula central; o modelo foi testado através do caso da cidade de Dongguan, na China.

Conforme argumentado por Polidori (2004), se por um lado esses trabalhos são precursores na modelagem de crescimento urbano através de CA, por outro revelam problemas ainda não resolvidos nesse campo do conhecimento, a saber: a) os modelos têm dificuldade para explicitarem as teorias subjacentes à lógica de produção do espaço urbano, sendo predominante estocásticos; b) fatores naturais têm inclusão limitada nas representações dos modelos, com restrições às variáveis (somente os atributos naturais previstos na estrutura do modelo podem participar) e ao papel que exercem no crescimento urbano (atuam somente como restrições ao crescimento); c) fatores urbanos também têm inclusão limitada, pois precisam-se ajustar à pré-classificação dos modelos, dificultando a inclusão das peculiaridades locais; d) fatores institucionais são raramente incluídos, o que traz dificuldades para a discussão de planos e políticas de crescimento; e) alguns modelos são inclusive restritos a um determinado local, não sendo aplicáveis em outras situações, quer reais quer abstratas; f) a desagregação espacial e a quantidade

de entidades são limitadas pelos modelos, o que dificulta os delineamentos experimentais; g) os modelos exigem plataformas computacionais sofisticadas, freqüentemente exigindo do usuário conhecimento em programação; h) os modelos são indisponíveis no Brasil, ao mesmo tempo em que acumulam vantagens tecnológicas com exclusividade para as culturas de origem.

2.2 O Modelo de Simulação do Ambiente da Cidade

Com o propósito de avançar no campo do conhecimento da configuração urbana, Polidori (2004) propõe um modelo de simulação de crescimento que avance sobre as limitações dos modelos urbanos baseados na lógica dos CA a partir da sua tese de doutorado intitulada *Cidade e Ambiente: um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro das cidades*; defendida no Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

O modelo de simulação do crescimento da cidade foi construído com a intenção de: a) desenvolver possibilidades de modelagem dinâmica, identificadas a partir do modelo de Potencial (Krafta, 1999); b) integrar variáveis do ambiente natural nos trabalhos de modelagem; c) desenvolver um ambiente de simulação espacial do tipo autômato celular; d) carrear recursos de SIG – sistema de informações geográficas e geocomputação para os exercícios de simulação pretendidos.

Neste sentido, o modelo é construído a partir da idéia de 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 construção 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.

A operacionalidade do modelo de simulação de crescimento urbano se dá através da implementação em um software chamado SACI – Simulador do Ambiente da Cidade[®], construído como um aplicativo de uma plataforma de SIG – sistema de informações geográficas. O SACI está escrito mediante a integração da linguagem de programação C++ com o software ArcView, acrescido da extensão *Spatial Analyst* (marcas registradas da ESRI), que se encarregam de implementar as demandas do modelo de simulação de crescimento e de construir a interface de comunicação com o usuário, respectivamente.

A comunicação entre o *software* ArcVIEW e o módulo externo em C++ ocorre através de um *grid* base (*Base-Grid*) que acumula todos os dados de entrada do modelo em uma única matriz auxiliar e ocorre conforme figura 1, a seguir.

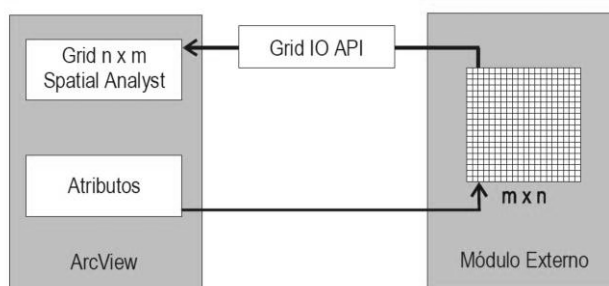


Figura 1. Estrutura de integração do ArcVIEW e o módulo externo em C++ através do grid base (*Base-Grid*).

O processo de simulação do crescimento urbano através do SACI está baseado nas tradicionais etapas de delimitação do sistema, definição do nível de desagregação e entitação (Wilson, 1985), continuando com as regras de transição e os procedimentos para geração de resultados. Neste sentido, a operação do modelo passa pelas seguintes etapas: a) entrada dos dados – inputs (Figuras 2.a e 2.b, a seguir), onde o território é representado a partir de um ambiente celular onde são descritos os atributos utilizados na simulação; b) parametrização e processamento, onde o modelo pode ser parametrizado a partir dos atributos ambientais ou a partir das regras de crescimento; c) obtenção dos resultados ou outputs, os quais ocorrem a através de dados tabulares no formato de tabelas, ou dados gráficos no formato de *grids*.

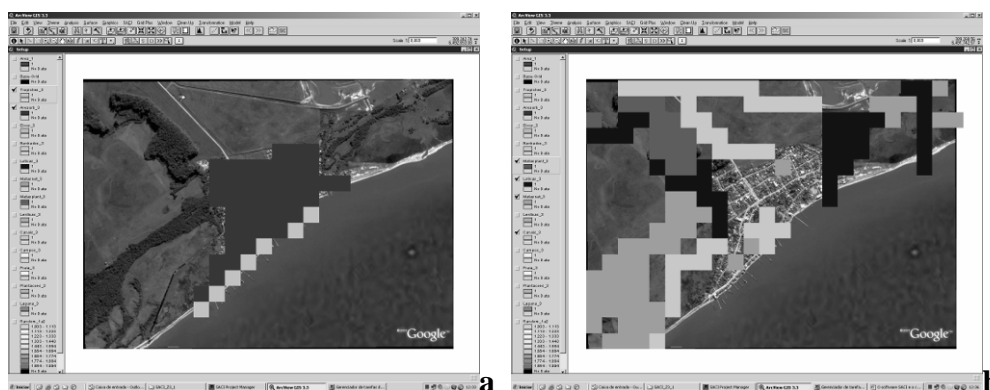


Figura 1. Exemplos de dados de input do SACI, na Colônia de Pescadores Z3, em Pelotas, RS: a) atributos do ambiente urbano (área efetivamente urbanizada e trapiches); b) atributos do ambiente natural (arroios, canais, matas nativas e matas plantadas).

A figura 4, a seguir, estão demonstrados os resultados de uma simulação de crescimento urbano da Colônia de Pescadores Z3, localizada em Pelotas-RS. A simulação apresentada corresponde a um horizonte de 40 anos e são apresentados os grids correspondentes aos outputs dos anos 1, 13, 26 e 40 anos de: a) CellType ou fenótipo urbano (figura 4.a); b) centralidade absoluta (figura 4.b); c) problemas ambientais totais (figura 4.c); d) resistências ambientais. A partir da sequência de grids estáticos são gerados animações que possibilitam representar a dinâmica de crescimento urbano.

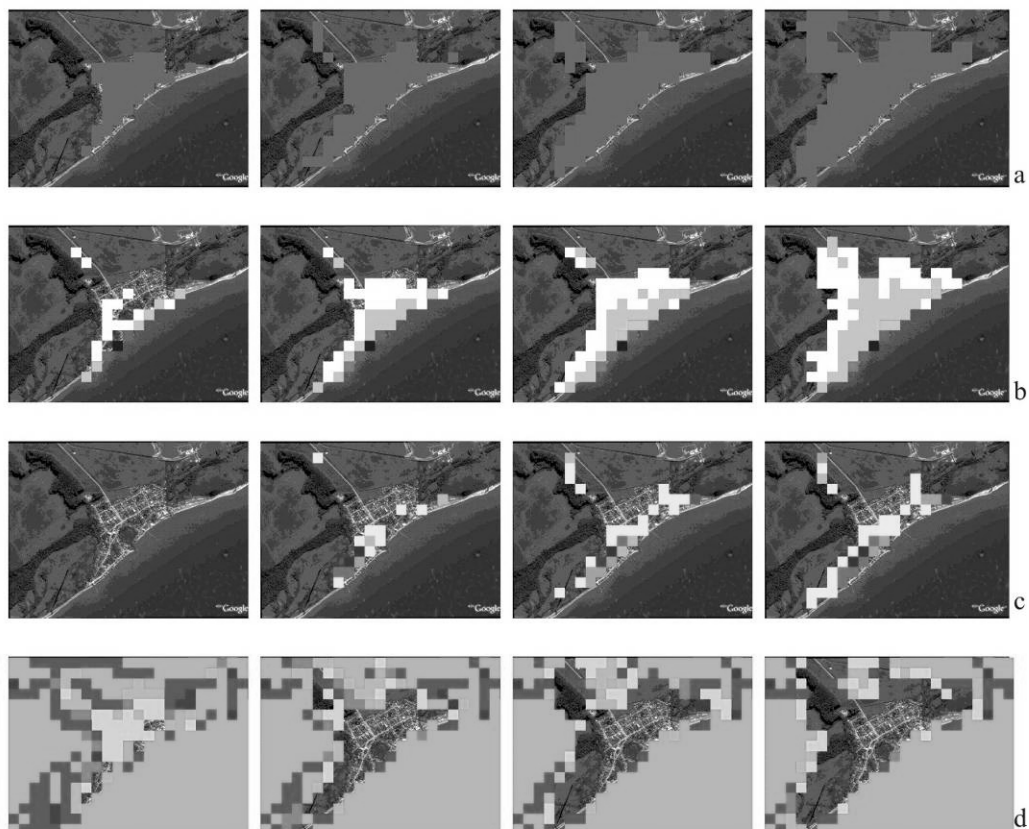


Figura 2. Exemplos de output do SACI, na Colônia de Pescadores Z3, em Pelotas, RS, sobre imagem de satélite do Google Earth: a) CellType - fenótipo urbano; b) CentrABS - centralidade absoluta; c) ProbT – problemas ambientais totais; d) ResistE – resistências ambientais.

Após a publicação do modelo SACI (Polidori, 2004), experiências de aplicação como uma ferramenta científica foram realizadas com sucesso, como é o caso dos trabalhos de Polidori e Krafta (2005), Saurim (2005) e Polidori (2008). Atualmente, outras investigações utilizando as bases do modelo estão em desenvolvimento no exterior e no Brasil, como é o caso do trabalho de doutorado em desenvolvimento de Mehdi Gholamalifard, em Tarbiat Modarres University e do mestrado de Otávio Martins Peres no Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFPel.

Nesse caminho, no Laboratório de Urbanismo da UFPel, o uso continuado do modelo têm sido desenvolvidos por Polidori e colaboradores como suporte as atividades de: a) ensino em disciplinas de Planejamento Urbano e Regional (Graduação) e Oficina de Modelagem Urbana (Pós-graduação); b) pesquisa em projetos de “Simulação de crescimento urbano como uma ferramenta ao planejamento urbano e regional”, financiados pelo CNPq e FAPERGS; c) pesquisas da Linha de Pesquisa em Arquitetura, Patrimônio e Sistemas Urbanos do Curso de Mestrado PROGRAU-FAUrb; d) atividades de extensão nas cidades de Santa Vitória e São Lourenço do Sul.

Todavia, se trabalhos anteriores e continuados têm sido capazes de construir instrumentos e de alocar teorias, atualmente o software SACI apresenta uma limitação operacional. Uma vez que opera como uma extensão do programa ArcView, software substituído pela ESRI pelo programa ArcGIS, portanto o SACI não apresenta compati-

bilidade com versões mais atuais de sistemas operacionais, o que dificulta a aceitação do software pela comunidade acadêmica e limita as possibilidades de avanços científicos. O que indica a necessidade de atualização do software para versões mais atuais de geoprocessamento da ESRI, no caso ArcGIS ou a construção de um software que opere separadamente de softwares proprietários, evitando a incompatibilidade com futuras versões de sistemas operacionais ou programas de geoprocessamento.

3. Conclusões

Estudos realizados desde o trabalho de Polidori (2003; 2004), Polidori e Krafta (2003), bem como através dos argumentos recentes de Peres e Polidori (2009), permitem listar as seguintes questões principais:

a) modelagem urbana e simulações parecem ter caminho promissor nos estudos urbanos, tanto pela premente necessidade de antecipação que os processos de planejamento exigem, como pelas possibilidades oferecidas pelas tecnologias computacionais; nessa direção, uma alternativa é o desenvolvimento de modelos com o auxílio de técnicas de autômatos celulares e o uso de geotecnologias, bem como sua aplicação a questões de interesse na área urbana e ambiental;

b) estudos urbanos com integração de fatores urbanos, naturais e institucionais podem auxiliar de modo privilegiado na compreensão dos mecanismos de mudança da cidade, posto que atuam sistemicamente, interagem de forma complexa e podem assumir processos auto-organizáveis; deste modo, simulações e estudos exploratórios podem permitir observar as mudanças laboratorialmente, realizar experimentos, estimular a criatividade e facilitar a produção de teorias;

c) para trabalhar com modelagem, simulações e integração de fatores urbanos, naturais e institucionais, interessa assumir e desenvolver novas tecnologias, destacadamente no campo da computação aplicada às ciências espaciais e ambientais, bem das possibilidades de produção de sistemas que se tornem operacionais e possam ajudar nos desafios da urbanização contemporânea.

Referências

- ALBERTI, Marina (1999). "Modeling the urban ecosystem: a conceptual framework." In: *Environment and Planning B – Planning and Design* v. 26. London: Pion. p. 605-630.
- AXELROD, Robert (1997). "Advancing the art of simulation in the social sciences." *International Conference on Computer Simulation and the Social Sciences*. Cortona, Italy. 12 p. [disponível em 03 de março de 2002 em www.santafe.edu]
- BATTY, Michael (1998). "Urban evolution on the desktop: simulation with the use of extended cellular automata." *Environment and Planning A*, v. 30. p. 1943-1967.
- BATTY, Michael (2009). "Urban Modelling". In: *International Encyclopedia of Human Geografy*. Disponível em de março de 2009 em www.casa.ucl.ac.uk/publications
- BRAGA, Roberto (2003). "Recursos hídricos e planejamento urbano e regional." Rio Claro: Laboratório de Planejamento Municipal - IGCE-UNESP.

- BUZAI, Gustavo D. (1999). "Geografía global: el paradigma geotecnológico y el espacio interdisciplinario em la interpretación del mundo del siglo XXI." Buenos Aires: Lugar Editorial. 216 p.
- CARNEIRO, Paulo Cesar (2004). "Dos Pântanos à Escassez: uso da água e conflito na baixada dos Goytacazes." Ed. Annablume / Coppe-UFRJ. 138 p.
- DUCROT, Raphaelae et alli (2004). "Articulating land and water dynamics with urbanization: an attempt to model natural resources management at the urban edge." In. Computers, Environment and Urban Systems v. 28., p.85-106.
- ECHENIQUE, Marcial (1975). "Modelos: una discussion." In. MARTIN, L.; MARCH, L.; ECHENIQUE, M. La Estructura del Espacio Urbano. Barcelona: Ed. GG.
- KRAFTA, Rômulo (1999). "Spatial self-organization and the production of the city." Urbana 24. Caracas: IFA/LUZ. p. 49-62.
- PERES, Otávio e POLIDORI, Maurício (2009). "Modelagem Urbana e Cidades Visuais: fundamentos e convergências." Anais do XIII Encontro Nacional da ANPUR. Florianópolis: ANPUR. 18 p.
- POLIDORI, Maurício C. (2003). "Simulação do Ambiente da Cidade." Anais X Encontro Nacional da ANPUR. Belo Horizonte: ANPUR. 20 p.
- POLIDORI, Maurício C. e KRAFTA, Romulo (2003). "Crescimento urbano – Fragmentação e sustentabilidade." Anais X Encontro Nacional da ANPUR. Belo Horizonte: ANPUR. 13 p.
- POLIDORI, Maurício C. (2004). "Crescimento urbano e ambiente: um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade." Tese de Doutorado. Porto Alegre: UFRGS – PPGECO. 352p.
- PORTUGALI, Juval (2000). "Self-organization and the city." Berlin: Springer. 352 p.
- SANTOS, Rosely F. (2004). "Planejamento Ambiental: teoria e prática." São Paulo: Oficina de Textos.
- SAURIM, Eduardo (2005). "Crescimento urbano simulado para Santa Maria – RS." Dissertação de Mestrado – PROPUR. Porto Alegre: UFRGS.
- TORRENS, Paul (2000). "How cellular models of urban systems work." London: Casa, UCL. 68 p. Disponível em dezembro de 2001 em <http://casa.ucl.ac.uk/publications>
- WILSON. A.J. (1985). "Mathematical methods in human geography and planning." Great Britain: John Wiley & Publishers. 404 p.