

## TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO EM ESTUDOS DA DINÂMICA URBANA

ROCHELE AMORIM RIBEIRO<sup>(1)</sup>  
PAULO CÉSAR LIMA SEGANTINE<sup>(1)</sup>  
RUI ANTÓNIO RODRIGUES RAMOS<sup>(2)</sup>

(1) Universidade de São Paulo - USP  
Escola de Engenharia de São Carlos - EESC  
Departamento de Transportes – STT  
São Carlos, SP - Brasil  
[rochele, seganta]@sc.usp.br

(2) Universidade do Minho – UM  
Escola de Engenharia  
Departamento de Engenharia Civil  
Braga – Portugal  
rui.ramos@civil.uminho.pt

**ABSTRACT** - This paper explores the application of geoinformation techniques in urban dynamics models. The goal is to discuss the state of the art in order to achieve the advantages for integrating Cellular Automata (CA) models and Multi-Agent Systems (MAS) in Urban/Regional and Transportation Planning. Finally, this work concludes that the urban dynamics models needs to aggregate the geographic reference and the temporal scale in its conceptual and operational structure. Therefore, the geoinformation techniques become an essential instrument for reaching this precondition because they assemble spatial and temporal analysis through Geographic Information Systems (GIS) with CA and MAS models.

### 1 INTRODUÇÃO

A dinâmica urbana é essencialmente constituída pela interação entre o homem e o ambiente urbano, envolvendo fatores relativos às dimensões ambiental, social e econômica. Os impactos ambientais devido à ocupação humana, as atividades econômicas, os tipos de uso do solo urbano, os fluxos de pessoas e de mercadorias e o sistema de transportes são alguns dentre os vários fatores que compõem o contexto da dinâmica urbana. É possível considerar estes fatores como agentes que atuam no sistema homem-ambiente e que possuem uma responsabilidade direta sobre o equilíbrio deste sistema. Nesta análise, o sistema homem-ambiente é considerado como “a unidade territorial que compreende os componentes humanos, ecológicos e ambientais de forma integrada” (LOURENÇO e MACHADO, 2004).

A interação simultânea dos fatores que envolvem a dinâmica urbana provoca mudanças no território ao longo do tempo. Como exemplo tem-se o sistema de transportes, caracterizado como um forte indutor de mudança da paisagem. Estas mudanças podem ser exemplificadas pela expansão da ocupação urbana, pela fragmentação da

vegetação natural e pela segregação espacial, cujo efeito está presente na discrepância das condições sócio-econômicas entre locais com nível de acesso diferenciado às infra-estruturas de transportes, influenciando diretamente o desempenho das atividades econômicas das regiões.

Portanto, a dinâmica urbana é um fenômeno que agrega componentes que atuam dentro de um *espaço* em um período de *tempo*. Desta forma, o seu estudo necessita de uma abordagem metodológica que contemple a análise espacial e temporal simultaneamente. Considerando que este fenômeno decorre sobre um território urbano, a referência geográfica precisa estar inserida nos dados considerados na análise para possibilitar que os resultados possam ser transferidos à realidade observada.

Sendo assim, esta comunicação técnica procura investigar a aplicação das tecnologias da geoinformação em modelos de dinâmica urbana. O objetivo é refletir criticamente sobre o estado da arte, buscando expor as vantagens sobre a integração das tecnologias de geoinformação em modelos de dinâmica urbana para o uso em Planejamento Urbano, Regional e de Transportes. Por fim, são estabelecidas algumas considerações acerca

das suas potencialidades para a sustentabilidade da gestão do sistema homem-ambiente.

## 2 TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

Com o avanço da informática, sobretudo com o desenvolvimento da computação gráfica e da capacidade de armazenamento de dados, os estudos envolvendo o território urbano passaram a contar com a representação geográfica vinculada a um Banco de Dados (BD), ou seja, com as potencialidades oferecidas pela Ciência da Geoinformação. Esta ciência caracteriza-se por se dedicar ao estudo e à implementação de diferentes formas de representação computacional do espaço geográfico (CÂMARA e MONTEIRO, 1999). Desta forma, foram desenvolvidos os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), isto é, sistemas computacionais para armazenamento, transformação, visualização, manipulação e análise de dados geográficos vinculados a bancos de dados alfanuméricos (ARANOFF, 1989; BURROUGH e MCDONNELL, 1998). Assim, pode-se considerar o SIG como uma das principais ferramentas das tecnologias de geoinformação.

Portanto, a informação territorial organizada em um SIG oferece uma elevada aproximação com o mundo real devido ao seu vínculo com a referência espacial. Em adição, é possível explorar os dados segundo diversas ópticas, como, por exemplo, através de análise espacial e geoestatística, recorrendo a ferramentas de manipulação, visualização e análise de dados geográficos e alfanuméricos disponibilizadas na generalidade dos SIG.

## 3 MODELOS DE DINÂMICA URBANA

Entender e analisar a dinâmica urbana com o intuito de aperfeiçoar a abordagem dos Sistemas de Suporte à Decisão (SSD) em Planejamento é cada vez mais importante principalmente como forma de garantir o sucesso da sustentabilidade urbana e regional. Sendo assim, modelos de dinâmica urbana vêm sendo desenvolvidos desde a década de 70, servindo-se da interdisciplinaridade para modelar a complexidade do sistema homem-ambiente (WILSON, 1974; NOVAES, 1981; TORRENS, 2000). Assim, teorias e conceitos associados às Ciências Sociais e Humanas, Matemática e Física, vêm sendo adotados no estudo da dinâmica das atividades humanas no ambiente urbano (PORTUGALI, 1999).

Com o objetivo de ampliar as potencialidades dos SIG para a aplicação em estudos da dinâmica urbana, foram vinculados ao sistema modelos computacionais referentes à área da Inteligência Artificial, classificados na literatura como *técnicas emergentes* (RAMOS e SILVA, 2002; SILVA, RAMOS *et al.*, 2004). Estas técnicas, quando vinculados a um ambiente SIG, possibilitam a criação de modelos que permitem

interpretar e, posteriormente, simular fenômenos dinâmicos segundo componentes geográficos e temporais (RAMOS e SILVA, 2002). Dentre as técnicas emergentes integradas ao SIG estão: Avaliação Multi-Critério (AMC), os Métodos Exploratórios de Estatística Espacial, as Redes Neurais Artificiais (RNA), os Autômatos Celulares (AC) e os Sistemas Multi-Agentes (SMA).

Estas diversas técnicas emergentes permitem o desenvolvimento de metodologias que tem a capacidade de implementar análises do tipo “*bottom-up*”, ou seja, considerando que as ações/decisões das partes que compõe a complexidade do fenômeno analisado configuram o resultado final. O fenômeno não é explicado pelo padrão emergente (o todo), mas pelos componentes que atuam no fenômeno e, de modo conjunto e simultâneo, produzem um resultado.

Portanto, pode-se interpretar a dinâmica urbana como um fenômeno com características do tipo *bottom-up*, pois o resultado é fruto da atuação de diversas variáveis atuantes no sistema. Assim, por exemplo, a atuação conjunta dos fatores que compõe a dinâmica urbana, como as atividades econômicas, o fluxo de veículos e a expansão da ocupação urbana, por exemplo, emergem um padrão de comportamento no território em que este fenômeno incide.

### 3.1 Autômatos Celulares (AC) e Sistemas Multi-Agentes (SMA)

Nas últimas décadas modelos computacionais de dinâmica urbana exploram a simulação através de Autômatos Celulares (AC) e, mais recentemente, de Sistemas Multi-Agentes (SMA), ambas as técnicas vinculadas ao ambiente SIG.

Os modelos AC são reconhecidos por ser um modelo computacional discreto configurado por uma grelha infinita e regular de células, cada uma podendo apresentar um número finito de estados, que variam de acordo com regras determinísticas de transição em função da vizinhança (O’SULLIVAN e TORRENS, 2000).

Com relação à aplicabilidade em estudos de planejamento, fenômenos temporais de mudança do uso do solo, como densificação de áreas urbanas e perdas de maciços florestais, são amplamente explorados utilizando AC. Assim, pode ser feito facilmente uma analogia entre a célula e a unidade de área do território geográfico. Tratando-se de uma grelha regular, as imagens obtidas por satélite podem servir como base para a simulação AC, associando cada *pixel* a uma célula e cada atributo do *pixel* a um estado. Importantes estudos na área de Planejamento Regional e de Transportes já desenvolvem a aplicação de AC em SIG (OMER e PORTUGALI, 1999; O’SULLIVAN e TORRENS, 2000; ALMEIDA, MONTEIRO *et al.*, 2002).

Por outro lado, os SMA são modelos computacionais de Inteligência Artificial Distribuída constituídos por agentes que interagem entre si para atingir determinados objetivos ou para realizar determinadas tarefas (SINGH, 1991; D'INVERNO e LUCK, 1998; WEISS, 1999). Neste caso, o agente é uma entidade computacional capaz de perceber o ambiente através dos seus sensores e produzir ações que afetam o ambiente e/ou outros agentes através de seus atuadores (WOOLDRIDGE, 1999). Dentre as diversas áreas da ciência em que são aplicados, os SMAs possuem estudos vinculados às áreas da Ecologia, Sociologia e Planejamento Territorial para explorar sistemas sociais complexos associados ao espaço geográfico. Modelos de Planejamento Urbano e de Transportes vêm sendo desenvolvidos recorrendo a aplicações de SMA vinculados a bases digitais georreferenciadas (BATTY e JIANG, 1999; LOMBARDO, PETRI *et al.*, 2004; BENENSON, ARONOVICH *et al.*, 2005; BROWN, RIOLO *et al.*, 2005; GRIGOLETTI, 2007; SCHUMACHER, GRANGIER *et al.*, 2007; CROOKS, 2008).

Desta forma, explorar a integração dos modelos SMA em SIG representa um esforço em modelar a realidade observada num ambiente computacional, permitindo explorar a complexidade do sistema dinâmico em um espaço geográfico ao longo do tempo. Assim, atuando em uma escala temporal, cada agente possui uma determinada posição definida por um sistema de coordenadas, estabelecendo relações tanto topológicas quanto geográficas com os demais agentes e com as componentes do ambiente onde atua (CROOKS, 2008).

De um modo geral, o uso integrado das técnicas emergentes AC e SMA juntamente com o SIG para avaliar as transformações do território e as respectivas dinâmicas urbanas pode ser interpretado da seguinte forma:

- (i) Aplicação da modelagem em SMA para simular a atuação das entidades que operam no sistema, como por exemplo, a aplicação da legislação proveniente dos órgãos governamentais, o comportamento da população no espaço urbano e os interesses dos empresários perante às atividades econômicas;
- (ii) Aplicação da modelagem AC para simular os efeitos e/ou as conseqüências das ações destas entidades, como, por exemplo, mudanças do uso do solo influenciadas pela lei de zoneamento, expansão da ocupação urbana devido o crescimento da população e criação de pólos industriais como incentivo à determinadas atividades econômicas.

Por fim, as técnicas emergentes computacionais incrementam as potencialidades das tecnologias de geoinformação, sobretudo no que diz respeito às aplicações em modelos de dinâmica urbana. Neste contexto, os modelos de simulação computacional

representam a conduta das entidades quando interagem simultaneamente com o ambiente e com as demais entidades presentes, simulando a complexidade do fenômeno (LOMBARDO, PETRI *et al.*, 2004).

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Finalizando a reflexão crítica do estado da arte, este estudo conclui que os modelos de dinâmica urbana necessitam cada vez mais vincular-se à referência geográfica e à escala temporal. Para satisfazer esta exigência, as tecnologias de geoinformação tornam-se instrumentos indispensáveis, pois agregam ferramentas para a análise espacial e temporal de dados por meio do SIG e das técnicas emergentes. A vantagem da integração desses modelos é possibilitar, através do SIG, o posicionamento geográfico das entidades sobre o território e, mediante as técnicas emergentes, proporcionar a avaliação das transformações ocorridas durante o tempo.

De fato, a modelagem da dinâmica urbana feita através da integração entre técnicas emergentes (AC e SMA) e SIG mostra-se adequada para análise de fenômenos por meio da abordagem *bottom-up*, sobretudo pelo modo em que estas técnicas são estruturadas. Desta forma, a abordagem *bottom-up* possibilita a construção de um modelo que contemple as particularidades da dinâmica urbana acerca dos fatores que estão envolvidos neste fenômeno. Sendo assim, este perfil de modelo pode subsidiar políticas de planejamento que atuam nos pormenores do problema. Ou seja, um modelo que atua de forma a considerar cada fator como uma célula AC ou como um agente SMA e, por conseguinte, otimizando a atuação do mesmo conforme a sua interação com as demais células e/ou com os demais agentes do modelo, visando atingir um resultado emergente desejado conforme parâmetros de sustentabilidade urbana.

Portanto, o desenvolvimento de modelos de dinâmica urbana usando os recursos disponíveis pelas tecnologias da geoinformação colabora para a obtenção de resultados cada vez mais condizentes com a realidade observada e potencia melhores tomadas de decisão no planejamento. Isto se deve à integração da componente espacial e temporal da simulação do modelo, sem que o mesmo perca o vínculo com a referência geográfica, esta que possibilita a posterior associação do *output* do modelo no mundo real e a construção de cenários fidedignos da evolução previsível para o território.

#### REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. M. D., MONTEIRO, A. M. V., *et al.* Empiricism and Stochastics in Cellular Automaton Modeling of Urban Land Use Dynamics. **CASA - Centre for Advanced Spatial Analysis - Working Papers**, v.42. 2002.

- ARANOFF, S. **Geographical Information Systems: A Management Perspective**. Ottawa: WDI Publications. 1989
- BATTY, M. e JIANG, B. Multi-Agent Simulation: New Approaches to Exploring Space-Time Dynamics within GIS. **CASA - Centre for Advanced Spatial Analysis - Working Papers**, n.10. 1999.
- BENENSON, I., ARONOVICH, S., *et al.* Let's talk objects: generic methodology for urban high-resolution simulation. **Computers, Environment and Urban Systems**, v.29, p.425-453. 2005.
- BROWN, D. G., RIOLO, R., *et al.* Spatial process and data models: Toward integration of agent-based models and GIS. **Journal Geograph Systems**, v.7, n.25-47. 2005.
- BURROUGH, P. A. e MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. Oxford: Oxford University Press. 1998
- CÂMARA, G. e MONTEIRO, A. M. V. Conceitos básicos em Ciência da Geoinformação. In: (Ed.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**: Edição Online, 1999.
- CROOKS, A. T. Constructing and Implementing an Agent- Based Model of Residential Segregation through Vector GIS. **CASA - Centre for Advanced Spatial Analysis**. Paper 133 - April 2008.
- D'INVERNO, M. e LUCK, M. **Understanding Agent Systems**. Berlin: Springer-Verlag. 1998
- GRIGOLETTI, P. S. **Uma Arquitetura Baseada em Sistemas Multiagentes para Simulações em Geoprocessamento**. Instituto de Informatática - Programa de Pós-Graduação em Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS - Brasil, 2007. 132 p.
- LOMBARDO, S., PETRI, M., *et al.* Intelligent Gis and Retail Location Dynamics: A Multi Agent System Integrated with ArcGis. In: (Ed.). **Computational Science and Its Applications – ICCSA 2004**: Springer Berlin / Heidelberg, v.3044, 2004. p.1046-1056.
- LOURENÇO, N. e MACHADO, C. R. Investigação integrada do sistema homem-ambiente terrestre. **Global Change Newsletter**, v.6, Março 2004, p.1-2. 2004.
- NOVAES, A. G. **Modelos em Planejamento Urbano, Regional e de Transportes**. São Paulo: Edgard Blüncher. 1981
- O'SULLIVAN, D. e TORRENS, P. M. Cellular Models of Urban Systems. **CASA - Centre for Advanced Spatial Analysis - Working Papers** n.22. 2000.
- OMER, I. e PORTUGALI, J. Internal Complexity and Socio-spatial Segregation of Groups in a Self-Organizing City. In: (Ed.). **Self Organization and the City**. New York: Springer, 1999.
- PORTUGALI, J. **Self-Organization and the City**. New York: Springer. 1999
- RAMOS, R. A. R. e SILVA, A. N. R. D. Oportunidades e desafios de técnicas emergentes para o planejamento urbano: o caso dos modelos de Cellular Automata. **VII Encontro de utilizadores de informação geográfica**. Lisboa - Portugal: Associação dos Utilizadores de Informação Geográfica - USIG 2002.
- SCHUMACHER, M., GRANGIER, L., *et al.* Governing Environments for Agent-Based Traffic Simulations. In: H.-D. B. E. A. (Eds.) (Ed.). **Multi-Agent Systems and Applications V - 5th International Central and Eastern European Conference on Multi-Agent Systems, CEEMAS 2007, Proceedings** Leipzig, Germany: Springer Berlin / Heidelberg, v.Volume 4696/2007, 2007. p.163-172.
- SILVA, A. N. R. D., RAMOS, R. A. R., *et al.* **SIG : uma plataforma para introdução de técnicas emergentes no planejamento urbano, regional e de transportes : uma ferramenta 3 D para análise ambiental urbana, avaliação multicritério, redes neurais artificiais** São Carlos - SP: Ed. dos Autores. 2004
- SINGH, M. P. **Multiagent System - A Theoretical Framework for Intentions, Know-How and Communications**. Berlin: Springer-Verlag. 1991
- TORRENS, P. M. How Land-Use Transportation Models work. **CASA - Centre for Advanced Spatial Analysis**, v.Working Paper Series - paper 20. 2000.
- WEISS, G. **Multiagent Systems - A Modern approach to Distributed Artificial Intelligence**. Cambridge: The MIT Press. 1999
- WILSON, A. G. **Urban and Regional Models in Geography and Planning**. London: John Wiley & Sons. 1974
- WOOLDRIDGE, M. Intelligent Agent. In: G. Weiss (Ed.). **Multiagent systems - a modern approach to distributed artificial intelligence**. Cambridge: The MIT Press, 1999.