



Desempenho de sistemas computacionais: estudo e aplicação em um simulador de crescimento urbano – SACI®.

SARAIVA, Marcus Vinicius Pereira; POLIDORI, Maurício Couto

*UFPel, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Rua Benjamim Constant, 1359 - Campus Porto - Pelotas/RS.
marcus.saraiva@gmail.com; mauricio.polidori@terra.com.br*

1. INTRODUÇÃO

O fenômeno do crescimento urbano é complexo e de difícil apreensão devido à grande quantidade de fatores atuantes tanto na cidade como no ambiente. Estes fatores interagem em diferentes escalas e sofrem mudanças ao longo do tempo, dificultando ainda mais o entendimento de seus processos e padrões pela ciência (Polidori, 2004).

Modelos computacionais têm sido utilizados com sucesso no sentido de entender o processo de crescimento das cidades, tendo em vista que permitem reproduzir a cidade e a paisagem artificialmente, tornando possível a realização de simulações da dinâmica urbana real. O modelo apresentado aqui está denominado SACI – Simulador do Ambiente da Cidade® e foi desenvolvido por Polidori (2004) em tese de doutorado e implementado como uma extensão do software ArcView® utilizando a linguagem de programação C++.

O presente trabalho tem como objetivo estudar o modelo de crescimento SACI® do ponto de vista computacional e apresentar soluções capazes de tornar o software mais eficiente, resolvendo problemas identificados pelos usuários do sistema, sendo o principal deles o tempo de processamento necessário para efetuar as simulações. A pesquisa pode ser dividida em quatro etapas: a) estudar o modelo de crescimento SACI® e sua implementação computacional; b) encontrar, no algoritmo geral do sistema, as rotinas responsáveis pelo desempenho atual do software; c) desenvolver algoritmos mais eficientes ou alternativos para as rotinas encontradas na etapa anterior; d) implementar esses algoritmos, bem como desenvolver uma atualização geral para o sistema.

2. MÉTODO

O modelo de crescimento SACI® promove a simulação dinâmica do crescimento das cidades, incluindo de modo integrado fatores urbanos, naturais e institucionais e promovendo simultaneamente crescimento externo e interno a um

espaço urbano preexistente, utilizando representação e modelagem através de grafos, autômato celular e geotecnologias.

Autômatos celulares foram desenvolvidos inicialmente por John Von Neumann e Stanislaw Ulam, na década de 40, estando ligados a estudos sobre computação, inteligência e vida artificiais (Torrens, 2000). Podem ser considerados como um espaço finito composto por parcelas ou células, organizadas em *grid*. Estas células mudam de estado automaticamente de acordo com certas regras de transição e em função dos estados das células vizinhas. A interação desses componentes simples (células) com sua vizinhança pode gerar padrões de comportamento complexo, assim como ocorre com as cidades.

Grafos são conjuntos finitos de nodos conectados por arestas (Mariani, 2001), e são úteis para representar as relações de interação ou tensão espacial entre as células. Para isto, é necessário converter a estrutura do *grid* em um grafo, o que é feito considerando cada célula como um vértice e a vizinhança celular do tipo Moore (9 vizinhos) como as arestas de um grafo. Esta representação está ilustrada na Figura 1 (a, b, c).

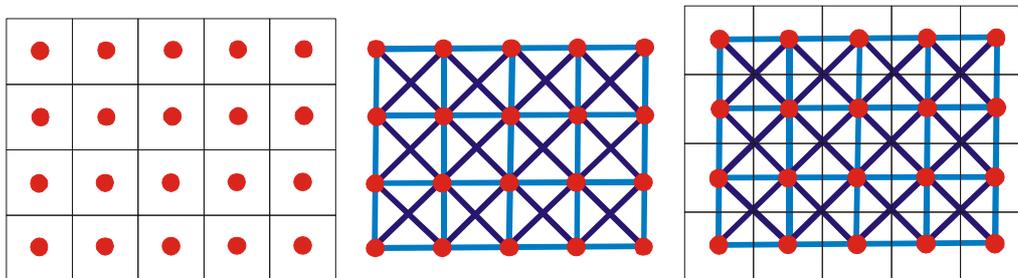


Figura 1: a) representação celular; b) representação em grafos; c) células + grafos.

As informações disponíveis são armazenadas em um ambiente SIG, responsável pela leitura, organização e visualização dos dados. No SACI®, isto é feito utilizando o software ArcView® 3.3, desenvolvido pela ESRI (Environmental Systems Research Institute), ao qual o modelo de crescimento é instalado na forma de uma extensão.

Após três anos do seu lançamento, é possível fazer uma análise da situação atual do SACI® e projetar novos rumos para o sistema. Um dos principais problemas do software atualmente é a lentidão do seu processamento. Outra questão a ser superada é a dependência de uma plataforma proprietária, no caso o ArcView®, o que dificulta a distribuição do sistema. O objetivo deste trabalho trata da superação destas limitações, bem como da implementação de novas funcionalidades ao sistema, atividades que não foram executadas devido à descontinuidade no desenvolvimento do software.

A segunda etapa do trabalho consiste na análise do algoritmo geral do sistema, de modo a encontrar as rotinas responsáveis pela maior parte do tempo de processamento demandado pelas simulações. Em uma primeira análise, foram encontrados três pontos críticos: o algoritmo de caminhos mínimos A*, a ausência de processamento paralelo e a interface entre o ArcView® e o SACI®.

No modelo de crescimento, em cada iteração o sistema calcula as tensões espaciais e o caminho mínimo entre todos os pares possíveis de células. O caminho mínimo entre duas células é calculado utilizando o algoritmo de busca heurística A*,

levando em conta atrações e resistências existentes nas células do *grid*. A quantidade de vezes em que esta busca é executada, aliada à complexidade do algoritmo, torna este um ponto crítico no desempenho geral do sistema.

De modo a minimizar o impacto da busca de caminhos no desempenho da simulação, serão implementadas as seguintes técnicas para ganho de velocidade, descritas por Lester (2004): a) utilização de vetores unidimensionais para armazenamento de listas, ao invés de estruturas de dados dinâmicas e orientadas a objetos, que podem consumir uma parcela de tempo maior necessária para a criação e manutenção de tais objetos; b) manutenção da lista aberta utilizando uma *binary heap* (Lester 2003), o que aumenta o desempenho exponencialmente nos casos de *grids* maiores.

Outra técnica que pode ser utilizada neste caso, com possibilidades de ganhos significativos de performance, é o armazenamento de caminhos já calculados. Neste caso o sistema inicia a busca de caminhos entre células mais distantes espacialmente, ao invés de começar pelas células mais próximas. Uma vez encontrado o caminho mínimo entre estas células, o caminho entre a célula de origem e todas as células intermediárias estará automaticamente calculado, bastando ser armazenado em memória para ser utilizado novamente quando necessário. Este processo está ilustrado na Figura 2:

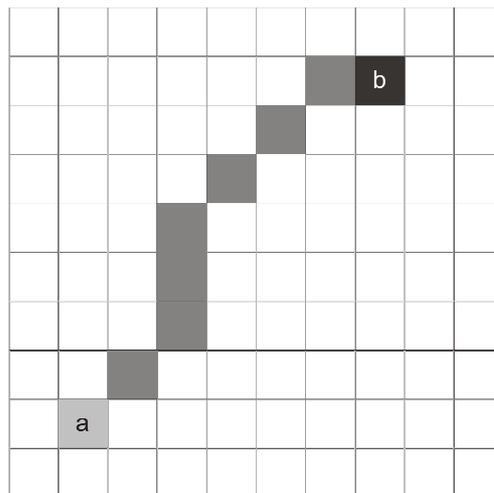


Figura 2: a – célula de origem; b – célula de destino; pintadas em cinza, o caminho entre a e b, que deve ser armazenado em memória para uso posterior.

Uma característica dos autômatos celulares é a de que se tratam de processadores paralelos, e não seriais, o que permite que o processamento de várias células seja feito simultaneamente. A versão atual do sistema não utiliza esta característica, comportando-se como um processador serial. A implementação de processamento paralelo pode ser feita, neste caso, em dois níveis: 1) a execução de vários processos simultaneamente em um mesmo computador, através do uso de threads; 2) a distribuição do processamento através de um cluster de computadores. No segundo caso, o *grid* poderia ser dividido em pedaços menores e distribuído entre vários computadores via rede, que executariam o processamento e devolveriam os resultados para um servidor, que se encarregaria de consolidar os dados recebidos e redistribuí-los aos computadores clientes a cada iteração.

Por fim, a integração com o software ArcView® também gera uma perda de desempenho considerável no processamento. Por tratar-se de um software relativamente antigo, o ArcView® tem problemas de compatibilidade com sistemas operacionais e processadores mais novos, como as versões de 64 bits do Windows®. Por outro lado, a falta de uma equipe permanente de desenvolvimento para o SACI® impossibilita que o mesmo seja atualizado constantemente, acompanhando os últimos lançamentos da ESRI, como o ArcGIS® 9.2. Esta limitação será superada com o lançamento de um sistema SACI® independente de plataformas proprietárias, facilitando a manutenção futura do software e ganhando em desempenho a medida que os processadores, sistemas operacionais e compiladores evoluem.

3. CONCLUSÃO

Analisando o modelo de crescimento SACI® foi possível entender seu funcionamento e identificar a possibilidade de ganhos de performance significativos. A implementação dos algoritmos sugeridos ao longo deste texto, bem como de outros que serão encontrados na continuidade dos trabalhos, trarão um ganho significativo de produtividade aos pesquisadores que se utilizarem do SACI® para suas simulações de crescimento urbano. Outro ganho significativo será a retirada do vínculo com o ArcView®, tornando o SACI® um software independente de plataformas proprietárias e aumentando a quantidade de usuários do sistema.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LESTER, Patrick (2004). **A* Pathfinding for Beginners**. [disponível em 24 de julho de 2008 em www.policyalmanac.org/games/aStarTutorial.htm]

LESTER, Patrick (2003). **Using Binary Heaps in A* Pathfinding**. [disponível em 24 de julho de 2008 em www.policyalmanac.org/games/binaryHeaps.htm]

MARIANI, Antonio Carlos (2001). **Teoria dos Grafos**. UFSC/CTC/INE. [disponível em 20 de agosto de 2008 em www.inf.ufsc.br/grafos/livro.html]

POLIDORI, Maurício Couto (2004). **Crescimento urbano e ambiente: um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade**. UFRGS, PPGECCO.

TORRENS, Paul (2000). **How cellular models of urban systems work**. London: Casa, UCL. 75 p. [disponível em 20 de agosto de 2008 em http://www.casa.ucl.ac.uk/working_papers.htm]