

## **COMPACTAÇÃO E FRAGMENTAÇÃO URBANA: DINÂMICAS MORFOLÓGICAS EMERGENTES DO CRESCIMENTO URBANO FRENTE AOS RECURSOS HÍDRICOS.**

**O. M. Peres, M. V. Saraiva, J. A. Lima, M. C. Polidori**

### **RESUMO**

O trabalho aborda, teórica e empiricamente, dinâmicas do crescimento urbano integradas à escala espacial dos recursos hídricos e das bacias hidrográficas, a partir da convergência entre os campos do urbanismo e da ecologia. Pressupondo a cidade um fenômeno complexo de onde emergem diferentes padrões morfológicos, o crescimento urbano caracterizado por movimentos de compactação e fragmentação urbana podem ser associado mecanismos que denotam vitalidade e resiliência às cidades. O trabalho aplica recursos de modelagem urbana possibilitadas pelo SACI - Simulador do Ambiente da Cidade, o qual articula teoria dos grafos e autômatos celulares numa abordagem dinâmica do modelo de Potencial-Centralidade (Krafta, 1994). Simulações de crescimento puderam ser realizadas de modo a identificar o papel dos recursos hídricos sobre diferentes lógicas de crescimento, analisando comparativamente as medidas de compacidade e fragmentação.

### **1 INTRODUÇÃO**

A dinâmica do crescimento urbano ocorre através de permanentes conversões do uso do solo e alterações no ecossistema natural, em um processo onde se alteram a cidade e a paisagem natural simultaneamente. Enquanto cidades apresentam grande capacidade de alterar o ambiente natural, ecossistemas naturais necessitam de muitos anos para se adaptar às modificações impostas pela dinâmica urbana. A partir desta perspectiva decorrem grande parte dos problemas ambientais do crescimento urbano frente aos recursos hídricos, como alteração nas taxas de infiltração, ocupação de áreas de inundações e exposição de populações a ocorrências de enchentes (Paul e Mayer, 2001). Por outro lado, se abordados sob uma perspectiva espacial, crescimento urbano e ambiente natural podem ter comportamentos espaciais compatibilizados, possibilitando uma melhor compreensão da interação entre estes diferentes subsistemas e assim serem reduzidos os problemas ambientais decorrentes (Benguigui *et al*, 2001; Tjallingii, 2005).

Entretanto, abordagens tradicionais do planejamento da paisagem têm dificuldade de estabelecer as influências que ocorrem na dinâmica da cidade sobre a paisagem. De um lado tradicionais idéias do urbanismo sanitaria foram dominantes nos últimos séculos, realizando intervenções estruturais, canalizando, represando e transpondo corpos hídricos com o objetivo de drenar e sanear os ambientes, possibilitando o processo de expansão urbana em nome da cidade compacta (Jenks e Burgess, 2000). Por outro lado planejadores ambientais indicam as bacias hidrográficas como unidades fundamentais do planejamento

ambiental e se faz necessária a preservação dos recursos hídricos para manutenção da vida humana no planeta (Alberti *et al.*, 2003).

Neste sentido o trabalho busca abordar, teórica e metodologicamente, dinâmicas do crescimento urbano e as possibilidades de integração espacial da cidade com os recursos hídricos, a partir da convergência entre os campos do urbanismo e ecologia. O trabalho parte da hipótese que alternância dos movimentos de compactação e fragmentação do crescimento urbano, se articulados a escala espacial das bacias hidrográficas, podem ser associados a um mecanismo de resiliência urbana. Deste modo, este trabalho procura dar continuidade ao enunciado de Polidori (2004), que os movimentos de compactação e fragmentação urbana ocorridos em distintas etapas da evolução urbana ou em diferentes lugares da cidade, estão associados a um indicador morfológico de permanência das cidades.

## 2 APROXIMAÇÕES TEÓRICO-METODOLÓGICAS

Estudos contemporâneos que avançam na aproximação das disciplinas da Ecologia Urbana e Urbanismo têm procurado superar a visão pessimista sobre o futuro das cidades, associando o fenômeno do crescimento urbano a mecanismos de resiliência urbana (Vale e Campanella, 2005). Em termos da resiliência, a cidade assemelha-se a qualquer outro ecossistema natural em termos de complexidade, o que lhe confere propriedades de suportar impactos e se auto-organizar morfológicamente em novas estruturas capazes de suportar a situação anteriormente adversa (Alberti *et al.*, 2003). Sob essa perspectiva, a articulação morfológica entre a preservação dos recursos hídricos e a dinâmica do crescimento urbano pode facilitar a compreensão dos movimentos de compactação e fragmentação das presentes nas cidades contemporâneas (Newman e Jennings, 2008; Czamanski *et al.*, 2008).

Separadamente, tanto as ciências sociais quanto as ciências naturais têm adotado as ciências complexas para estudar fenômenos emergentes, onde um caminho para integrar estudos sobre o crescimento urbano e o ambiente natural está na utilização de modelos e simulações que abordem a complexidade das interações urbano-ecológicas (Alberti *et al.*, 2003). Abordagens sistêmicas indicam que a partir do momento que uma determinada entidade apresenta muitos atributos, o sistema pode ser manipulado a partir da redução do sistema complexo a um conjunto de subsistemas e relações realmente importantes para o problema em questão (Forrester, 1968). Assim, abordagens sistêmicas convergem diretamente com a idéia de modelo, o qual trata da representação de certa realidade através de suas características relevantes, podendo consistir nos objetos ou sistemas que existem, existiram ou podem existir no ambiente urbano (Echenique, 1975).

A modelagem de sistemas ambientais é um procedimento teórico que envolve um conjunto de técnicas que dão as bases para a compreensão da complexidade do ambiente natural, em um processo exposto sobre a superfície terrestre e através da relação entre inúmeros elementos com variabilidade espacial (Christofolletti, 1999). Neste caminho, a modelagem urbana é a atividade definida pela construção e aplicação de modelos digitais para um objetivo proposto, tradicionalmente o planejamento físico-territorial das cidades (Krafta, 2008). O uso de modelos para explorar questões urbanas e sugerir alternativas para o futuro das cidades tem encontrado progresso contemporaneamente, apresentando avanços apoiados na não-linearidade de processamentos computacionais. Atualmente a aplicação de modelos e simuladores da dinâmica urbana são recorrentes na ciência urbana e estão aptos

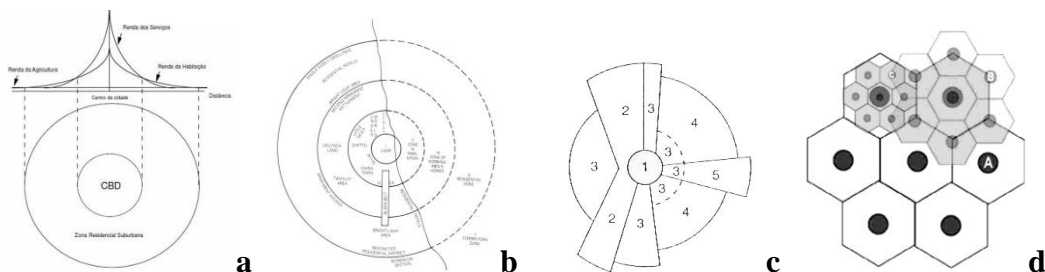
a atuarem ferramentas de experimentação de uma realidade ainda não concretizada, como por exemplo, o futuro (Krafta, 2008). Soma-se ainda as possibilidades de integração dos fatores urbanos, naturais e institucionais no processo de modelagem (Polidori, 2004) e configuração de hipóteses espaciais sobre a complexa interação urbano-ambiental (Alberti *et al.*, 2003).

A teoria urbana em sua curta e recente produção tem procurado explicar o fenômeno urbano através de modelos e teorias, sendo mais ainda mais recentes os estudos dedicados a explicar a descontinuidade espacial emergente da dinâmica urbana (Portugali, 2000). O crescimento urbano é objeto de estudo desde as primeiras teorias locacionais surgidas na primeira metade do séc. XX, onde diversos autores buscaram explicar a cidade baseando-se em lógicas causa-efeito de bases geográficas, econômicas e sociais. São recentes os enunciados a respeito da dinâmica do crescimento urbano à luz das teorias da complexidade e da auto-organização, sendo ainda mais contemporâneas aproximações da morfologia urbana à escala espacial da paisagem natural (Batty e Longley, 2004; Czamanski *et al.*, 2008; respectivamente).

Na seqüência do trabalho são discutidos alguns enunciados teóricos dedicados a dinâmica urbana e a emergente descontinuidade espacial do crescimento urbano e posteriormente apresentada uma possibilidade metodológica de abordar de modo dinâmico crescimento urbano integrado aos recursos hídricos.

## 2.1 Teorias urbanas, dinâmicas e a aproximação ao ambiente natural

As primeiras teorias locacionais urbanas foram lançadas ainda no séc. XIX por von Thünen, abordando o fenômeno baseadas no princípio econômico da maximização dos lucros. Posteriormente as idéias de Thünen são resgatadas por Alonso (1964, figura 1a) no modelo da cidade econômica, representando-a espacialmente a partir de uma sucessão de anéis concêntricos com maiores vantagens locacionais àquelas atividades econômicas capazes de obter a mais valia do uso do solo. O princípio da configuração urbana a partir de anéis concêntricos também foi associado às relações ecológicas pela escola de Chicago (Park e Burgess, 1921, figura 1b), bem como pelas posteriores adaptações setoriais propostas por Hoyt (1959, figura 1c). O mesmo caminho do pensamento concêntrico da cidade está no modelo proposto por Christaller (1933, figura 1d) na Teoria do Lugar Central, diferenciando-se dos demais modelos por abordar o planejamento do território em escala regional e a partir da ocorrência de multicentralidades.



**Fig. 1: modelos urbanos concêntricos: a) Alonso, 1964; b) Park e Burgess, 1921; c) Hoyt, 1959; d) Christaller, 1933.**

Entretanto, estas originais teorias locacionais urbanas mostraram-se incapazes de descrever dinâmicas temporais do crescimento urbano, principalmente pela limitação de suas configurações estáticas. Geógrafos e economistas, autores como Fujita e Mori (1997),

dedicaram-se a discutir as tradicionais teorias sobre a luz das teorias da complexidade e da auto-organização, caracterizando a *New Economic Geography* (NEG - Nova Geografia Econômica). A “abordagem evolutiva dos sistemas urbanos” (Fujita e Mori, 1997) sugere que a validade da teoria urbana ocorre a partir da releitura de sua trajetória, relacionando-a com uma espécie de processo evolutivo. A partir da NEG, trabalhos como de Janoschka (2002) tentam explicar a descontinuidade espacial e a suburbanização das cidades latino-americanas apoiados na releitura dinâmico-evolutiva dos modelos de Alonso, Park e Burgess, Hoyt e Christaller, ilustrados na figura 1 anterior.

Contemporaneamente aos enunciados da NEG, outra vertente da teoria urbana tenta explicar a descontinuidade espacial sob a lógica geométrico-morfológica da dimensão fractal. A Cidade Fractal (*Fractal City* – Batty e Longley, 1994) revelaria semelhanças geométricas entre os espaços construídos e abertos, quando observados tanto em baixas, quanto em altas resoluções; sugerindo que a auto-organização da macro-estrutura urbana estaria associada a regras de micro-escala da cidade. Batty e Longley (1994) verificaram empiricamente a dimensão fractal em diversas cidades pelo mundo, enunciando um grande potencial de abordagem dinâmica, de imediato atraindo a atenção de diversos pesquisadores ao final da década de 90. Atualmente a dimensão fractal urbana cai em desuso, principalmente pelo descrédito científico e os pelos alertas de Benguigui *et al.* (2000), onde os autores ao estudar a dimensão fractal da cidade de Tel Aviv, inauguram o pensamento da teoria urbana atual, quando regras fractais não se mostram plenamente capazes de abordar a dinâmica urbana.

Outra vertente da teoria urbana diferencia o crescimento urbano de acordo com a localização geográfica do objeto de estudo, onde a expansão urbana tem sido tratada nos países de primeiro mundo em termos do *sprawl*, enquanto nos países de terceiro mundo este movimento está associado a um processo de periferização. Tanto o processo do *urban sprawl* quanto o fenômeno da periferização são formas de crescimento urbano caracterizadas por movimentos de segregação sócio-espacial, que avançam sobre a paisagem natural (Torrens e Alberti, 2000; Barros, 2004; respectivamente). Mesmo sendo tratados separadamente de acordo com o contexto geográfico, contrapondo-se à idéia que fenômeno urbano apresenta características similares e fundamentais desde suas origens (Portugali, 2000), teorias a respeito do *sprawl* e da periferização são amplamente abordados pela ciência urbana na primeira década do século 21 e muito reproduziram a ótica econômica e compacta da cidade, evidenciando os aspectos negativos do crescimento associados aos custos de viagem, infraestrutura e consumo de recursos naturais (Czamanski *et al.*, 2008).

Contemporaneamente, grande parte dos estudos dedicados às dinâmicas do crescimento urbano e a descontinuidade espacial emergente ainda estão associados ao fenômeno do *sprawl*. Entretanto, são cada vez maiores estudos que indicam o fenômeno do *sprawl* como um processo inevitável do crescimento das cidades e até certo ponto um estado desejável da evolução natural do sistema urbano, com recentes associações aos movimentos ecológicos e adaptados à escala da paisagem natural (Czamanski *et al.*, 2008). Deste modo, após estudos dedicados ao *urban sprawl* e a dimensão fractal urbana da cidade de Tel Aviv; Benguigui, Benenson, Czamanski, Portugali e demais pesquisadores do Complex City Research Lab (<http://www.eslab.tau.ac.il/>) tem realizados importantes estudos sobre as possibilidades de compatibilizar a descontinuidade do crescimento urbano ao ecossistema natural, associando o crescimento urbano a um processo *Leapfrogging*. (Benguigui *et al.*, 2001).

O termo que tem origem a partir de uma brincadeira infantil de realizar saltos impulsionados por obstáculos é absorvido pelas teorias econômicas para traduzir crescimentos dados por inovações em situações desfavoráveis. Assim, a expansão urbana associada ao movimento *leapfrogging* corresponde a uma dinâmica da morfologia urbana capaz de configurar uma sucessão de espaços abertos, semelhantes às teorias fractais e do *urban sprawl*. Deste modo, se a descontinuidade espacial emergente do crescimento urbano pode estar associada a locais de maior valorização ambiental, articulando a dinâmica do crescimento à paisagem do ambiente natural, assim podem ser reduzidos os efeitos da pegada ecológica urbana (Czamanski *et al.*, 2008).

No mesmo caminho, Tjallingii (2005) tem se dedicado a levantar estratégias que podem ser aplicadas para um desenvolvimento urbano adaptado a paisagem natural, indicando tanto a presença dos recursos hídricos como sistema de transportes, fluxos essenciais aos processos urbanos. O autor propõe um modelo que articula espacialmente a rede de transportes e o sistema dos recursos hídricos com a finalidade de apoiar a tomada de decisão de investimentos em sistemas de transportes, escolha de locais para habitação e manutenção de áreas verdes. Segundo Tjallingii, é tarefa urgente à teoria urbana alcançar consenso sobre a unidade espacial básica do crescimento urbano, onde um caminho está lançado tratando de compatibilizar investimentos na estrutura viária à dimensão espacial das linhas de drenagem e divisores de águas dos recursos hídricos.

No mesmo caminho, recentemente em um dos editoriais do periódico *Environment and Planning: B*, v.36, Batty (2009) apresenta a idéia de *catastrophic cascades*, onde propõe um desafio à teoria urbana dedicada à dinâmica de mudança, o qual está em descobrir elementos discretos presentes nos sistemas urbanos que catalisam a dinâmica através de um “efeito cascata”. Segundo o autor, os “*tippins points*” catalisadores da dinâmica urbana seriam decorrentes não apenas de um ou poucos atributos, mas sim por uma infinidade de fatores que sobrepostos seriam capazes de influenciar de modo global na descontinuidade espacial do sistema urbano. São estes múltiplos atores associados a questões econômicas, sociais e ambientais, que configuram o fenômeno urbano enquanto sistema complexo e possibilitam o desencadeamento de rápidas mudanças sobre continuidade espacial emergente.

Absorvendo a idéia de *catastrophic cascades*, este trabalho aborda morfologia urbana através das relações entre a paisagem natural e a dinâmica configuracional emergente, identificando a presença dos atributos dos recursos hídricos como tippint points onde a partir de um efeito cascata, inúmeros fatores urbanos discretos convergem para influenciar na transição de fases da dinâmica espacial urbana e na descontinuidade espacial emergente.

## **2.2 Modelando crescimento urbano por diferenciação espacial**

Da necessidade de abordar crescimento urbano diferenciado espacialmente o trabalho soma as possibilidades do modelo de Potencial-Centralidade (Krafta, 1994). Originadas a partir das idéias de Crescimento Desigual (Harvey, 1985), a medida de centralidade espacial corresponde a distribuição desigual de matéria urbana sobre o espaço, a qual conduz o sistema a um desequilíbrio espacial, ou seja, um indicador de sua dinâmica. A medida proposta por Krafta (1994) ocorre a partir da tensão gerada pelo produto dos carregamentos entre um par de espaços urbanos (Equação 1) e esta tensão é distribuída igualmente através de todos os espaços localizados no caminho mínimo entre esse par de espaços, conforme apresentado na Equação 2.



$$T_{ij} = (a_i \times a_j) \quad (1)$$

$$c_{ij} = T_{ij} / n_{ij} \quad (2)$$

Onde:

$T_{ij}$ : tensão gerada entre os carregamentos urbanos dos espaços  $i$  e  $j$ .

$a_i, a_j$ : carregamentos urbanos das células  $i$  e  $j$ .

$n_{ij}$ : quantidade de espaços localizados no caminho mínimo entre  $i$  e  $j$ .

$c_{ij}$ : medida de centralidade entre um par de células  $i$  e  $j$ .

Como sugere Harvey (1985), produtores urbanos buscam permanentemente possibilidades de lucro excedente associadas a vantagens locacionais e como descobertas locacionais 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, a medida de centralidade pode ser tomada não só como uma descrição espacial de uma dada morfologia, mas sim como um conjunto de forças capazes de enunciar vetores de crescimento urbano futuros, onde os maiores potenciais de mudança se concentram onde houver maior diferença entre valores de centralidade entre um lugar e seu entorno (Polidori, 2004).

A partir das possibilidades de diferenciação espacial e o decorrente desequilíbrio dinâmico dado pela medida de centralidade, o trabalho está dedicado aos recursos de modelagem e simulação de crescimento urbano do *software* SACI – Simulador do Ambiente da Cidade (Polidori, 2004), o qual aborda de modo dinâmico o modelo de Potencial-Centralidade (Krafta, 1994), possibilitando modelar crescimento dinâmico, permitindo o livre ingresso de variáveis do ambiente natural e a captura crescimento externo e interno, simultaneamente pelo uso conjunto de teoria de grafos, autômato celular.

O modelo assume como base espacial um *grid* bidimensional regular com células quadradas, onde se dará tanto a base para *input* de variáveis quanto o nível de resolução dos *outputs*. A partir da delimitação do *grid* base, o modelo permite a livre inclusão de variáveis do tipo urbano, natural ou institucional, as quais podem assumir dois diferentes papéis no processo de crescimento: a) carregamentos; b) resistências. Assim, no ambiente celular do SACI cada célula representa uma “caixa”, capaz de carregar atributos do ambiente urbano e natural simultaneamente, possibilitando que o *grid* seja diferenciado espacialmente, onde atributos naturais atuam como resistência e carregamentos urbanos produzem tensões de crescimento urbano. Deste modo, o modelo avança sobre a concepção original do modelo de Krafta (1994) procedendo a distribuição das tensões não apenas através dos caminhos mínimos, mas buscando replicar as formas em que ocorre o crescimento das cidades, através da composição entre morfologias: a) axiais (ao longo de caminhos, estradas ou percursos); b) polares ou *buffer* (concêntrico ao redor de um núcleo); c) difusos (crescimento espontâneo, imprevisível). Assim a medida de centralidade de uma determinada célula é dada pela composição entre os tipos de distribuição das tensões, conforme mostra Equação 3.

$$CentCel_{i1} = x.A1 + y.A2 + z.B + w.C1 + q.C2 \quad (3)$$

Onde:

$CentCel_{i1}$ : centralidade celular da célula  $i$  na interação 1.

$x, y, z, w, q$ : quantidades relativas dos modos de distribuição de tensões, sendo  $\sum = 1$ .

$A1, A2, B, C1, C2$ : distribuição axial, axial de buffer, polar, difuso1 e difuso2.

Os resultados do modelo ocorrem através de dados gráficos, nos formatos de *grids* e dados tabulares, no formato de tabelas ou gráficos. Os *grids* são representações típicas de modelos baseados em CA, possibilitando representação dos resultados de forma geográfica através de informações associadas às células, onde um conjunto de *grid* para cada iteração possibilita análises da dinâmica de mudança. A partir dos dados tabulares podem ser extraídas contagem de células ou medidas de crescimento celular como compactidade, fragmentação e conversão do solo. As medidas de compactidade e fragmentação aplicadas no modelo são medidas de dispersão espacial, onde a medida de fragmentação é calculada em função da quantidade máxima de células vizinhas e a quantidade efetiva, conforme Equação 4, onde pode ser regulado o raio de vizinhança. Já a medida de compactidade é calculada pela conforme Equação 5, relacionado à área urbana com o perímetro da área efetivamente urbanizada.

$$\text{Frag}_{\text{abs}} = \sum \text{Cel}_i \cdot (v_{\text{máx}} - v_{\text{ef}}) \quad (4)$$

Onde se lê:

Fragmentação absoluta do sistema é igual ao somatório das células multiplicado pela diferença entre o número máximo de vizinhos e o número efetivo de vizinhos de cada célula.

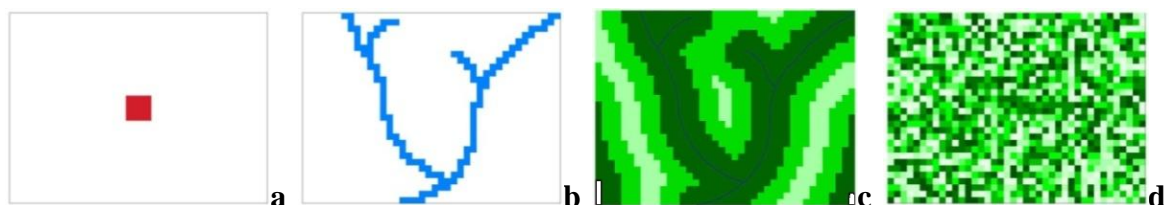
$$\text{Comp}_{\text{abs}} = S/P \quad (5)$$

Onde se lê:

Compactidade absoluta é igual à superfície (S) dividida pelo perímetro (P).

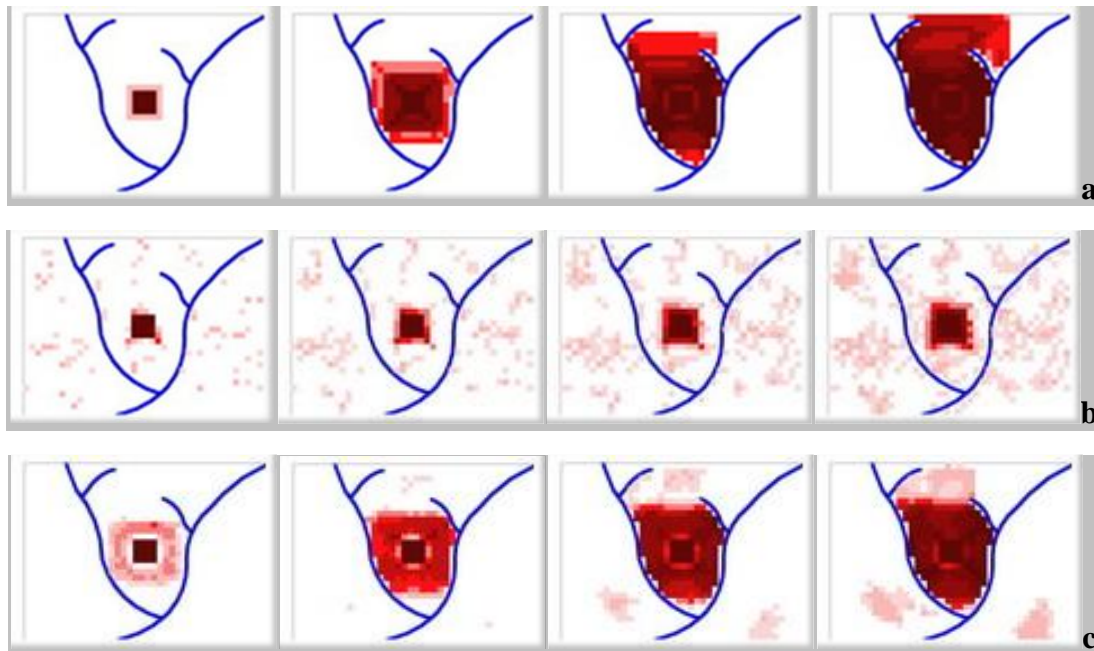
### 3 EXPERIMENTANDO DINÂMICAS MORFOLÓGICAS DE COMPACIDADE E FRAGMENTAÇÃO.

Na seqüência do trabalho são explorados movimentos alternados de compactação e fragmentação urbana influenciados pela presença dos recursos hídricos. Para isto foi construído um ambiente de simulação abstrato que contém: a) núcleo urbano original; b) linhas de drenagem dos recursos hídricos; c) sub-bacias hidrográficas; d) matriz ambiental randômica. Os atributos foram convertidos em *inputs* de *grids* regulares de 30 x 40 células, onde cada célula passa a corresponder a um recorte espacial de 250 x 250 m, os quais estão ilustrados na figura 2 na seqüência.



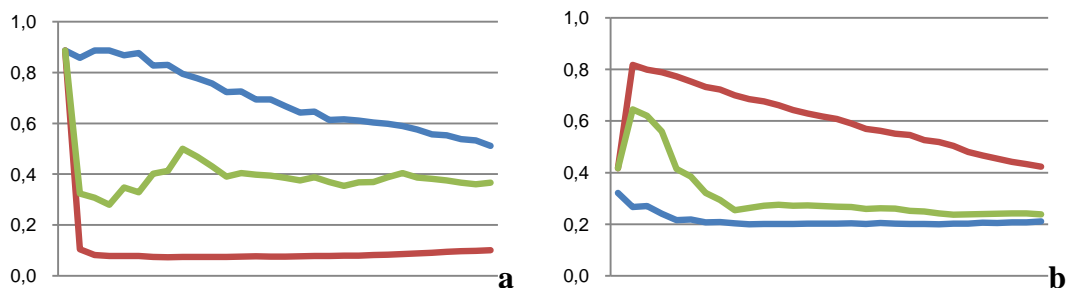
**Fig. 2 inputs em grid regular de 30x40 células: a) núcleo urbano; b) recursos hídricos; c) bacias hidrográficas; d) matriz ambiental.**

Depois de construído o ambiente para simulação, inicialmente foram explorados hipóteses de crescimento com a influência dos recursos hídricos, capturando crescimentos exclusivamente concêntricos (figura 3a); exclusivamente difusos (figura 3b) e combinações da distribuição das tensões polares, axiais e difusas (figura 3c).



**Fig. 3** outputs das simulações representando carregamentos urbanos (LoadU):  
**a) crescimento concêntrico; b) crescimento difuso; c) tensões distribuídas.**

A partir de análises gráficas dos *outputs* dos carregamentos urbanos (LoadU no modelo) é possível identificar que a distribuição das tensões *default* do modelo combina crescimentos concêntricos e difusos, apresentando simultaneamente concentração junto ao núcleo urbano original e a emergência de núcleos difusos sobre o ambiente natural. Se analisados resultados tabulares é possível afirmar que tensões igualmente distribuídas configuram um padrão de crescimento intermediário no que se refere às medidas de compactidade e fragmentação (linhas verdes), se comparados com crescimento concêntrico (linhas azuis) e crescimento difuso (linhas vermelhas), conforme apresentados na figura 4 a seguir.



**Fig. 4** dados tabulares das medidas de a) Compacidade; b) Fragmentação;  
**crescimento concêntrico em azul, difuso em vermelho e tensões distribuídas em verde.**

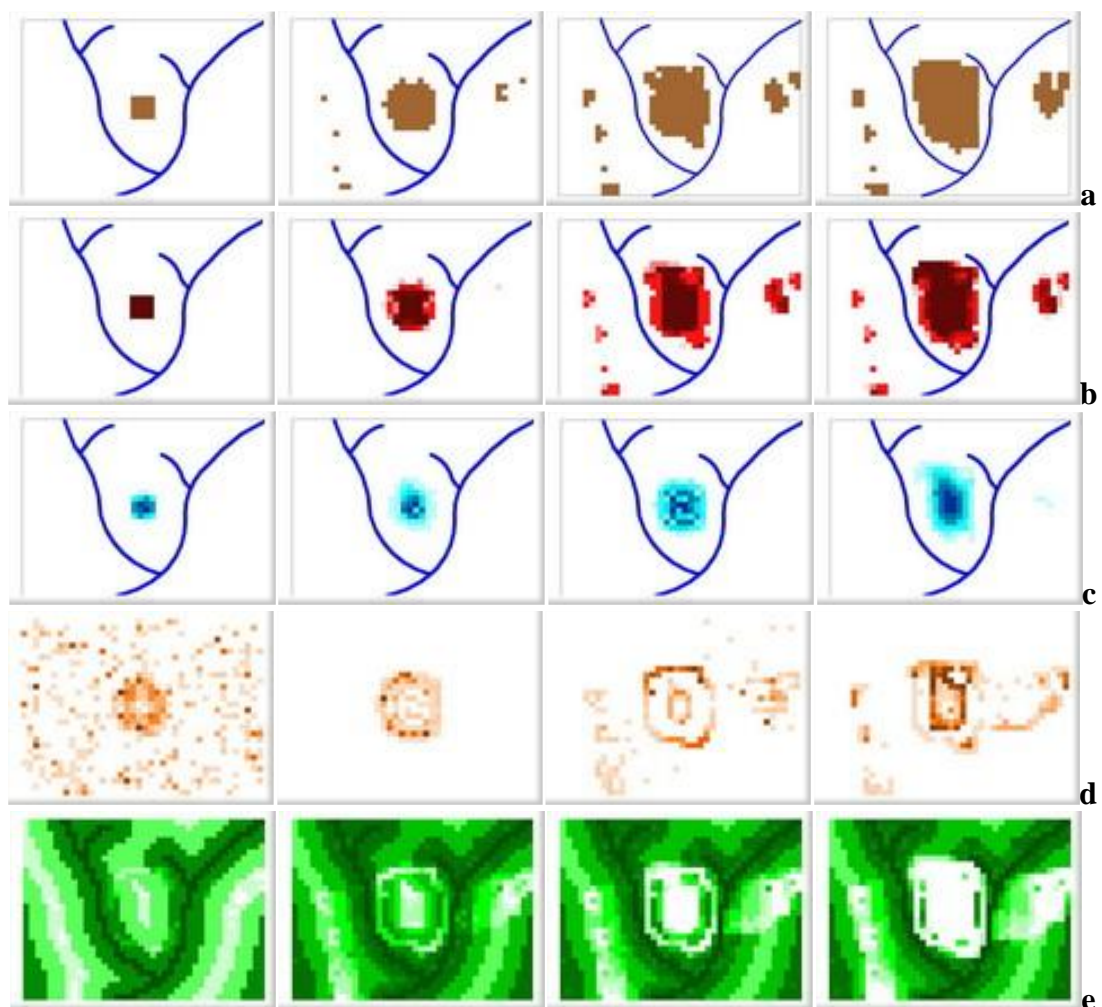
Assim, após três experimentos com a influência dos atributos hídricos na simulação, mostrou-se viável o modelo SACI em capturar movimentos morfológicos de crescimento com a influência dos recursos hídricos, tanto quando exclusivamente concêntrico, quando exclusivamente difuso ou quando as tensões são igualmente distribuídas. Mais ainda, é possível capturar a emergência de novos núcleos junto aos divisores de águas, possibilitando ao modelo capturar movimentos de crescimento urbano concêntricos e difusos; compactos e fragmentados, simultaneamente.

Por outro lado se a cidade cresce a partir de lógicas dinâmicas, alterando morfologias ao longo do tempo, e o trabalho parte da hipótese que ao atingir os recursos hídricos a cidade



ativa mecanismos que alteram o modo em que ocorre o crescimento. Deste modo, a seguir experimentos estão dedicados a modelar a alternância das medidas de compacidade e fragmentação urbana, tornando ainda mais evidentes os carregamentos urbanos nos núcleos difusos, capturando assim movimentos de policentralidades. Entretanto, o modelo SACI, do modo em que está programado, obedece a uma única lógica de crescimento determinada no início do processo. Em termos da modelagem urbana o trabalho busca um procedimento de simulação onde altera-se o tipo de parametrização durante o processo, possibilitando assim simular dupla alternâncias de compactação e fragmentação.

O experimento na seqüência apresentado interrompe o procedimento a um dado estágio, onde a cidade apresenta situação de pressão morfológica sobre os recursos hídricos, utilizando o *output* do processo inicial como *input* da continuidade do processo, onde neste intervalo também são alterados a parametrização do modelo. O procedimento inicia com crescimento de predominância difusa, e ao encerrar o processo, a partir de uma operação com grids de *output*, foi configurado um novo *input* ao modelo e os parâmetros alterados para predominância axial.



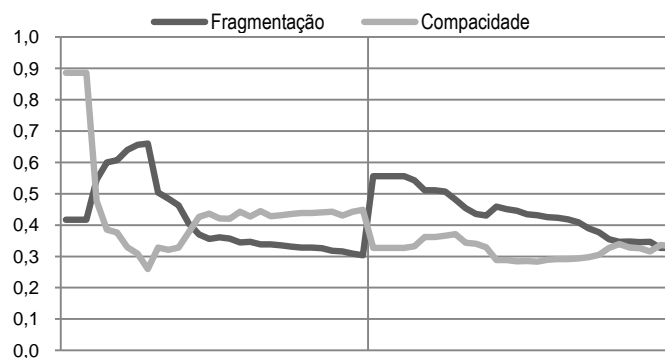
**Fig. 5** outputs da simulação com alternância de parâmetros. a) fenótipo urbano; b) carregamento; c) centralidade; d) potencial de crescimento; e) resistência ambiental.

Os resultados são apresentados de modo gráfico na figura 5 acima, para a área efetivamente urbanizada (CellType, fig. 5a), carregamentos urbanos (LoadU, fig. 5b), centralidades urbanas (CentABS, fig. 5c), potencial de crescimento (Potential, fig. 5d) e

resistências ambientais (ResistE, fig. 5e), de onde podem ser feitos os seguintes destaques: a) emergência e consolidação de núcleos difusos podem ser identificados a partir dos resultados do fenótipo urbano (CellType) indicando tendências de polinucleação urbana (figura 5a); b) potenciais de crescimento transitam entre morfologias dispersa no ambiente, concêntrica e axial (figura 5b).

Destaca-se que esta dinâmica morfológica de polinucleação e flutuação de potenciais podem ser associados como indicadores de auto-organização do crescimento urbano, onde as alternâncias estão associadas a morfologias de crescimento que a cidade avança sobre os recursos hídricos. Em outras palavras, a alternância das morfologias de crescimento, de concêntrica a difusa, de compacta a fragmentada, pode sim ser comparado a um mecanismo de preservação ambiental intrínseco ao fenômeno urbano, associado à idéia de sustentabilidade e resiliência urbana.

Por fim, a alternância da parametrização do modelo inicialmente com distribuições difusas e passando ao predomínio de tensões axiais, permite afirmar que ao se compactar, a cidade opera por forças de dispersão, e em sentido oposto, ao fragmentar-se a cidade opera por forças de concentração. Isto é, no início do processo com tensões 100% difusas a cidade apresenta maior crescimento concêntrico, ao final do processo com tensões 100% axiais a cidade aumenta os carregamentos dos seus núcleos difusos. Estas afirmações tornam-se mais evidentes se traçado um paralelo entre as medidas de compactação e fragmentação, onde ficam registradas múltiplas alternâncias entre compactação e fragmentação urbana, conforme apresentado na figura 6 na seqüência. Nota-se que linhas das medidas celulares se cruzam em quatro pontos distintos, convergindo com a assertiva que o crescimento urbano opere com movimentos cíclicos de compactação e fragmentação morfológica.



**Fig. 6 comparativo entre as medidas de compacidade e fragmentação.**

#### 4 CONSIDERAÇÕES

Este trabalho está dedicado a abordar, teórica e empiricamente, crescimento urbano integrado ao ambiente natural, revisando sucintamente as principais vertentes da teoria urbana contemporânea, dedicadas à dinâmica urbana e a descontinuidade espacial. Ainda, experimenta possibilidades de capturar dinâmicas morfológicas a partir de abordagens sistêmicas de modelagem e simulação de crescimento urbano integrado com recursos hídricos. Deste modo, podem ser feitas as seguintes considerações:

a) dinâmicas do crescimento urbano dado por movimentos de compacidade e fragmentação podem ser teoricamente abordados a partir de uma aproximação evolutiva dos modelos urbanos clássicos, onde os recursos hídricos podem atuar como um elemento catalisador desse processo;

- b) mesmo a geometria fractal contemporaneamente estar em desuso, inaugura na teoria urbana estudos dedicados a descontinuidade espacial do crescimento urbano e dão as bases para medir a fragmentação global e local do sistema urbano;
- d) soma-se ainda, contribuições teóricas dos estudos dedicados aos movimentos sócio-espaciais associados à segregação econômica e crescimento urbano das bordas da cidade sobre a paisagem, indicam que a promoção imobiliária, tanto formal quanto informal, relacionadas aos valores do solo e do ambiente natural;
- e) a partir das idéias de crescimento desigual traduzidas à realidade urbana através do modelo de potencial-centralidade, quando abordados de modo dinâmico e integrados a uma situação de desigualdades ambientais, dão as bases para a construção de um modelo capaz de simular crescimento urbano dado por movimentos de compactidade e fragmentação;
- f) os experimentos realizados demonstram que a descontinuidade espacial do crescimento urbano pode estar associada ao campo de irregularidades da paisagem natural configurada pela presença dos recursos hídricos e bacias hidrográficas.
- g) por fim, a alternância de morfologias compactas e fragmentadas, se articulados com os recursos hídricos permitem ser reduzidos os impactos da morfologia urbana sobre a paisagem natural e esta dinâmica pode ser associada a propriedades de resiliência do sistema urbano.

## 5 REFERÊNCIAS

- Alberti, M; Marzluff J. M; Shulenberger, E; Bradley, G; Ryan, C; Zumbrunnen, C. (2003) **Integrating Humans into Ecology: Opportunities and Challenges for Studying Urban Ecosystems.** *BioScience* 53(12), 2003:1169–1179
- Barros, J. (2004) **Urban Growth in Latin American Cities: Exploring urban dynamics through agent based simulation.** PhD Thesis. Londres: Casa.UCL.
- Batty, Michael (2009) **Catastrophic cascades: extending our understanding of urban change and dynamics.** *Editorial Environment and Planning B: Planning and Design* 36
- Batty, M.; Longley, P. (1994) **Fractal Cities: geometry of form and function.** Academic Press, London.
- Benguigui, L., Czamanski D., Marinov M., Portugali, J. (2000) **When and Where is a City Fractal?** *Environment and Planning B: Planning and Design* 27: 507–519.
- Benguigui, L; Czamanski D; Marino, M; (2001) **City Growth as a Leapfrogging Process: An Application to the Tel Aviv Metropolis.** *Urban Studies* 38(10): 1819–1839.
- Christofoletti, A. (1999) **Modelagem de Sistemas Ambientais.** São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda.

Czamanski, D.; Benenson, I.; Malkinson, D.; Marinov, M.; Roth, R.; Wittenberg, L. (2008) **Urban Sprawl and Ecosystems - Can Nature Survive?** International Review of Environmental and Resource Economics, 2008, 2: 321–366

Echenique, M. (1975) **Modelos: una discussion.** In. Martin, L.; March, L.; Echenique, M. La Estructura del Espacio Urbano. Barcelona: Ed. GG.

Forrester, J. W. (1968) **Principles of Systems.** Cambridge, Massachusetts.

Fujita, M.; Mori, T. (1997) **Structural stability and evolution of urban systems.** Regional Science and Urban Economics, 27. 399-442.

Janoschka, M. (2002) **El nuevo modelo de la ciudad latinoamericana: fragmentación y privatización.** EURE (Santiago) v.28 n.85 Santiago.

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

Jenks, M.; Burgess, R. (2000) **Compact Cities: Sustainable Urban Forms for Developing Countries.** London, Spon Press.

Krafta, R. (1994). **Modelling Intraurban configurational development.** Environment and Planning B: Planning and Design, v. 21. London: Pion. p. 67-82.

Krafta, R. (2008) **Numerópolis: Mapeamento do Desempenho Urbano.** Projeto de Pesquisa do Grupo “Sistemas Configuracionais Urbanos” UFRGS-PROPUR.

Newman, P.; Jennings, I. (2008) **Cities as sustainable ecosystems: principles and practices.** Washington: Island Press,

Paul, M. J.; Meyer, J. L. (2001) **Streams in the Urban Landscape.** Annual Review of Ecology and Systematics, 32: 333-365.

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

Polidori, M. C. (2004) **Crescimento urbano e ambiente: um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade.** Tese Doutorado UFRGS PPGECCO.

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

Tjallingii, S. (2005) **Carrying Structures: Urban Development Guided by Water and Traffic Networks** In Hulsbergen, E.D.; Klaasen, I.T.; Kriens I. (eds) Shifting Sense Looking back to the future in Spatial Planning. Techne Press, Amsterdam.

Torrens, P.; Alberti, M. (2000). **Measuring Sprawl.** London: Casa, UCL. 43 p. Disponível em 18 de novembro de 2009 em [http://casa.ucl.ac.uk/working\\_papers.htm](http://casa.ucl.ac.uk/working_papers.htm)

Vale, L. J.; Campanella, T. J. (2005) **The Resilient City: How Modern Cities Recover from Disaster.** Nova York: Oxford University Press.