



EIXO TEMÁTICO:

- | | | |
|---|---|---|
| ☐ Ambiente e Sustentabilidade | ☐ Crítica, Documentação e Reflexão | ☐ Espaço Público e Cidadania |
| ☐ Habitação e Direito à Cidade | ☐ Infraestrutura e Mobilidade | ☒ Novos processos e novas tecnologias |
| ☐ Patrimônio, Cultura e Identidade | | |

O lugar dos pobres na cidade: um modelo baseado em agentes para explorar a formação de áreas pobres em periferias urbanas

The poor's section in the city: an agent based model to explore the urban peripheral poverty areas formation

El lugar de los pobres en la ciudad: un modelo basado en agentes para explorar la formación de áreas pobres en las periferias urbanas

SANTOS, Alexandre Pereira (1);

POLIDORI, Maurício Couto (2);

SARAIVA, Marcus Pereira (3)

(1) Mestrando, Universidade Federal de Pelotas, UFPel, Laboratório de Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, LabUrb, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, PROGRAU, Pelotas, RS, Brasil; e-mail: alexandre.pereira.arq@gmail.com

(2) Professor Doutor, Universidade Federal de Pelotas, UFPel, Laboratório de Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, LabUrb, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, PROGRAU, Pelotas, RS, Brasil; e-mail: mauricio.polidori@gmail.com

(3) Pesquisador Mestre, Universidade Federal de Pelotas, UFPel, Laboratório de Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, LabUrb, Pelotas, RS, Brasil; e-mail: marcus.saraiva@gmail.com



O lugar dos pobres na cidade: um modelo baseado em agentes para explorar a formação de áreas pobres em periferias urbanas

The poor's section in the city: an agent based model to explore the urban peripheral poverty areas formation

El lugar de los pobres en la ciudad: un modelo basado en agentes para explorar la formación de áreas pobres en las periferias urbanas

RESUMO

O trabalho traz a apresentação de modelo híbrido de autômatos celulares e agentes para simulação de processos de crescimento urbano, tomada de decisão e competição. Essa proposta explora a consolidação de uma condição periférica das cidades em processos socioeconômicos geradores de crescimento urbano nas bordas das cidades, associada à integração de racionalidades diferentes nesses processos e o entrelaçamento da forma urbana com os processos sociais na produção da cidade. É proposto um modelo híbrido para simulação de crescimento urbano externo e interno com alocação de populações de agentes representando populações de baixa renda. O modelo é aplicado em Jaguarão/RS através de atributos naturais, urbanos e institucionais que interagem entre si e com a intensidade de urbanização, resultando em avaliação diversa do ambiente urbano para cada tipo de agente, de forma a suportar processo de tomada de decisão. O modelo proposto sugere elementos de flexibilidade para modelos de crescimento urbano e permite avaliação de cenários em que racionalidades explícitas e heterogêneas interagem entre si e com o ambiente para criar padrões de forma construída e ocupação social. Apresenta ainda contribuição para reflexões sobre o papel da forma construída e sociedade nas simulações urbanas.

PALAVRAS-CHAVE: crescimento urbano, modelagem urbana, modelos baseados em agentes, periferia urbana, dinâmicas urbanas

ABSTRACT

This paper presents a hybrid cellular automaton and agent model for the simulation of urban growth, decision making and competition. This proposal explores the consolidation of a "peripheral condition" in socio-economic processes of external urban growth, which is associated to the combination of differing rationalities in these processes and the linking between urban form and social processes in city production. A hybrid model of internal and external urban growth is proposed, which includes the allocation of low income populations depicted as agents. This model is developed for Jaguarão/RS through natural, institutional e urban attributes, which are combined with urbanization intensities and result in the differentiation of the appraisal of urban form by diverse agents, so as to serve as basis for their decision making. This suggested model provides flexibility elements for urban growth models and allows the assessment of scenarios in which explicit and heterogeneous rationalities interact amongst themselves and with the environment to shape urban form and social location patterns. The model also presents potential contribution to the reflections on the roles of urban form and society in urban simulations.

KEY-WORDS: urban growth, urban modelling, agent based models, urban periphery, urban dynamics



RESUMEN

Presentación de modelo basado en agentes en ambiente celular para la simulación de procesos de crecimiento urbano, la toma de decisiones y la competición. Explora la consolidación de una condición periférica de las ciudades en procesos socioeconómicos generadores del crecimiento urbano en los bordes de las ciudades; la integración de las diferentes racionalidades en estos procedimientos; y el entrelazamiento de la forma urbana y los procesos sociales en la producción de la ciudad. Reporta propuesta de modelo híbrido de autómatas celulares para simulación de crecimiento periférico con asignación de poblaciones de agentes. Demuestra aplicación en que la ponderación de los atributos ambientales, urbanos e institucionales en tándem con la intensidad de la urbanización resultan en diferenciación apropiada para apoyar la toma de decisiones por racionalidades autónomas. Sugiere elementos de flexibilidad para los modelos de crecimiento urbano y permite la evaluación de los escenarios en los que racionalidades explícitas y heterogéneas interactúan entre sí y con el medio ambiente para crear patrones de la forma construida y ocupación social. Presenta potencial contribución a la reflexión sobre el papel de la forma construida y de la sociedad en las simulaciones urbanas.

PALABRAS-CLAVE: *crecimiento urbano, modelado urbano, modelos basados en agentes, periferia urbana, dinámicas urbanas*

1 AS PERIFERIAS, A FORMA URBANA E O CONTEMPORÂNEO

As periferias urbanas ganharam maior relevância nos processos formadores de cidade a partir do final do século XX, trazendo novas formas de urbanidade e diluindo a massa compacta das cidades tradicionais (KOOLHAAS, 1997). Em um curto período, a velocidade da expansão da cidade aumentou ao passo em que a sua identidade se tornou cada vez mais fluída e passou a ser composta intensamente por processos sociais e econômicos que redefiniram muito do que havia sido estabelecido (ASCHER, 2010).

Se até a Revolução Industrial a cidade era massa compacta de edificações *intramuros* ao redor da qual se espalhava o campo, a modernidade trouxe a dissolução progressiva da quadra e do tecido urbano (PANERAI; CASTEX; DEPAULE, 2013) e, agravando essa tendência, a contemporaneidade conduz à diminuição das limitações da distância física à comunicação e ao transporte (CHIN, 2002), assim como à multiplicação dos seus autores, ao declínio da influência das tradições. A cidade contemporânea torna-se um arquipélago de urbanizações justapostas, para as quais a história representa cada vez menos (KOOLHAAS, 1997).

Significativa parte desse processo ocorreu nas bordas da cidade tradicional. Os dispersos *outskirts* e os *terrains vagues* dos arrabaldes foram gradativamente ocupados, integrados à forma urbana e superados em ondas cíclicas de expansão. A partir dos centros a forma da cidade misturou-se às formas rurais e semi-rurais, às discontinuidades e à baixa ocupação; foi atravessada por vastas redes de transporte e se dividiu em manchas extensivas e polinucleadas.

Essa mudança nas cidades legou à contemporaneidade formas urbanas diversas e de difícil classificação e apreensão. Nos países desenvolvidos, especialmente nos anglo-saxões, núcleos urbanizados especializados organizam redes esparsas de subúrbios monofuncionais pouco densos que se estendem até onde o preço do combustível permitir, com gradativo abandono



dos *inner city districts*¹ (BERUBE; KNEEBONE, 2006). Ao sul do Equador, imensas áreas de informalidade e pobreza intercalam-se com usos industriais e enclaves de alta renda (DAVIS, 2006a); agravam-se as disparidades sociais e a informalidade consolida-se como alternativa principal dos mais pobres para ter acesso ao solo urbano (BÓGUS; TASCHNER, 1999). Um verdadeiro caleidoscópio de desenvolvimento urbano (ABRAMO, 2007) se redefine de forma cíclica e contínua, sem jamais consolidar-se, mantendo permanente ímpeto à expansão (BARROS, 2012).

Esse processo estabelece uma condição periférica: coexistência de opostos com pouca harmonia; alternância entre formas compactas e dispersas; integração pontual com o global e segregação com os adjacentes; densidades que tendem a ser baixas; proximidade da informalidade e da flagrante ilegalidade; e ocupação de extensões com inclinação à escala regional (POLIDORI; KRAFTA, 2005; WALKER, 1978).

No terceiro mundo, esta diferenciação do espaço apresenta combinação estreita entre o mercado formal e a informalidade disseminada: o *real state* integrado às bolsas de valores mundiais é associado à grilagem de terras, à autoprodução da moradia nas favelas, às ocupações de vazios periféricos e edificações ociosas centrais. A interação entre espaço e processos sociais compostos por racionalidades diversas impõe tendências antagônicas, mas com determinação recíproca: a dispersão e a concentração ocorrem em ciclos alternados, movidas pela lógica do mercado e pela força da necessidade. (ABRAMO, 2007).

A especificidade dos locais e agentes envolvidos nas decisões de urbanização, assim como o estabelecimento de tensões potenciais de valorização e expectativas de desenvolvimento urbano revelam ligações importantes entre o território e redes em múltiplas escalas de agentes e processos heterogêneos.

2 PERIFERIAS GLOBAIS E PERIFERIAS URBANAS

No topo da pirâmide econômica das cidades, as cidades–regiões globais atuam como tradutoras das dinâmicas globais para as suas realidades locais (SASSEN, 1999; SCOTT; STORPER, 2003) em processos capitalistas intensos que determinam a forma urbana e exploram as cidades como suporte e como objetivo da produção do espaço urbano (HARVEY, 1978). Londres, Nova Iorque, Tóquio, Paris e as poucas cidades desse escalão se organizam ao redor dos especializados e fortificados Central Business Districts (DAVIS, 2006b) para coordenar o capitalismo global. Além disso, opõem-se diametralmente às periferias globais, que formam imensas parcelas de território excluídas dos processos de produção e controle capitalistas. Áreas periféricas de Lagos, Maputo, Kishasa e Dar es Salaam, por exemplo, são excluídas da civilização contemporânea e relegadas à inferioridade material, à desregulação e principalmente à ausência dos meios para sua autonomia (DAVIS, 2006a).

No campo intermediário a esses extremos, a dualização das sociedades pela especialização crescente de uns é anteposta a informalização do trabalho e vida urbana como única via de integração de imensa massa de outros (BÓGUS; TASCHNER, 1999). Nas cidades, se nos anos 1950-1960 as áreas de informalidade são ignoradas e se possível removidas (VAZ, 1994), nos anos 1990 em diante, por outro lado, tem-se o ressurgimento das periferias informais como

¹ Bairros ou setores inteiros das cidades, especialmente nos Estados Unidos, que são taxados como internos à mancha urbana densa e, portanto, sinônimos de pobreza e precariedade. Um dos melhores modelos dessa condição ainda pode ser encontrado em Chicago, que desde Burgess (ver PORTUGALI, 2000) demonstra em seu modo de operação a exclusão como motor da forma urbana.



forma majoritária de urbanização e abrigo para a maior parte da população (BÓGUS; TASCHNER, 1999).

Nas duas últimas décadas o quadro urbano se consolida: mais da metade da população do planeta torna-se urbana, em grande parte devido às contribuições das bordas das cidades dos países em desenvolvimento (UN-HABITAT, 2010). Esses locais, em dupla “periferização” (tanto global quanto local), tornam-se objeto de interesse renovado e ferramenta para explicar o urbano integralmente através da provisão de tons intermediários de um espectro contínuo da urbanização (CHIN, 2002).

3 FERRAMENTAS PARA ESTUDO DAS CIDADES SOB A COMPLEXIDADE

A partir dos anos 1980, abordagens tradicionais como a Teoria da Localização passam a ser criticados (SMITH, 1989; SOJA, 1980) e as aproximações sistêmicas aos processos sociais urbanos passam a sugerir possibilidades de síntese entre as vias baseadas nos comportamentos sociais e suas particularidades com os processos espaciais, do território, assim como suas dimensões materiais específicas (PORTUGALI, 2000).

Mais recentemente, a escala intraurbana das periferias também passa a receber esforços importantes para sua compreensão. A simulação de crescimento urbano interno e externo combinados têm oportunizado aproximações às bordas da urbanização (POLIDORI et al., 2010), enquanto o estudo do fenômeno da periferização (BARROS, 2012) combina elementos das dinâmicas centro-periferia e permite avaliar as suas correlações com a formação de áreas de informalidade de modo a considerar possibilidades de substituição, expansão ou consolidação. Avaliações microeconômicas apontam na mesma direção (ABRAMO, 2007) e evidenciam os mecanismos socioeconômicos de coordenação dos mercados formal e informal com o espaço urbano.

Aspectos quantitativos do espaço podem ser articulados a processos sociais particulares a partir desse arranjo teórico. Baseado na compreensão da multiplicidade de agentes e aspectos a serem percebidos, a abordagem sistêmica a partir de geotecnologias dá forma a visão temática multidisciplinar (BUZAI, 1999). Ela abre a perspectiva para o paradigma das ciências complexas e da auto-organização (PORTUGALI, 2000) e permite vislumbrar a sutil ordem emergente nas interações entre os agentes que compõem as cidades.

Esses modelos propiciam descrever, especular e em certa medida prever as dinâmicas urbanas através de um olhar qualificado sobre a realidade. O estudo da forma urbana com a sua aplicação investiga as dinâmicas espaciais e temporais oriundas das associações desagregadas de atores e atributos urbanos na complexidade. A geosimulação permite verificar os resultados dos processos sociais na forma urbana e sua recíproca de forma dinâmica. Produz-se assim importante retroalimentação teórica, metodológica e empírica da disciplina que extrapola cada um dos aspectos e auxilia na integração do campo de conhecimento (BATTY, 2012).

4 MODELOS URBANOS DE PERIFERIAS

A investigação das dinâmicas urbanas de forma sistêmica apoia-se na noção de que há uma interdependência entre o espaço construído e a sua constituição por processos sociais. A esta se soma a compreensão de que os processos sociais nos ambientes urbanos devem grande parte de suas estruturas a interações realizadas por grupos que não seguem regras definidas centralizadamente, mas constituem ordem a partir de sua auto-organização. As relações



sociais podem ser entendidas, então, como definidas pelo espaço urbano que é ele próprio fruto de outras relações sociais, anteriores (PORTUGALI, 1996).

Uma das ferramentas de apoio a essa abordagem é a geosimulação, que consiste em um conjunto de técnicas computacionais de simulação de processos urbanos em representações da realidade que, tal como laboratórios artificiais (HEPPENSTALL et al., 2012), permitem compreender pressupostos teóricos ou esclarecer observações empíricas de forma qualificada. Esse conjunto de técnicas suscita uma nascente “ciência das cidades” (BATTY, 2012), buscando revelar padrões de ordem que “[...] ‘emergem’ de ações e decisões onde indivíduos e agentes respondem ao seu ambiente e uns aos outros competitiva e colaborativamente desde a base para o topo.”² (BATTY, 2007).

Neste contexto, os modelos urbanos de autômatos celulares apresentam importante capacidade em descrever o crescimento das cidades (BATTY; TORRENS, 2005). Permitem articular com coerência os efeitos da urbanização sobre o ambiente natural (POLIDORI et al., 2010), informalidade e formação de áreas de pobreza (BARROS, 2012; PATEL; CROOKS; KOIZUMI, 2012). As dinâmicas urbanas podem ser simuladas através da interação de células adjacentes em uma grelha (usualmente retangular) que mudam de estado através de regras simples, aplicadas repetidamente e sob perturbações estocásticas. O acúmulo das influências mútuas dessas relações de vizinhança é capaz de produzir estados de ordem que emergem da base para o topo dos sistemas (BATTY; TORRENS, 2005).

Esses modelos podem ser complementados pela inclusão explícita de agentes sociais para simular a capacidade de decisão de entidades racionalmente autônomas e com conhecimento limitado (EPSTEIN; AXTELL, 1996). Os modelos baseados em agentes trazem detalhamento das características de cada agente ao dota-los de comportamentos e atributos próprios como motivação, objetivos, metas, capacidade de decisão autônoma e aprendizado (HEPPENSTALL et al., 2012).

5 MODELO BASEADO EM AGENTES DE CRESCIMENTO PERIFÉRICO

Propõe-se modelo que objetiva responder a questões de escolha de localização, competição e exercício de poder nos processos de tomada de decisão de atores sociais não organizados durante o crescimento urbano. Apesar de não representar diretamente cada um dos atores sociais se apoia em abordagens semelhantes (BARROS, 2012; FEITOSA et al., 2012; PATEL; CROOKS; KOIZUMI, 2012; SIETCHIPING, 2004) que têm tido sucesso ao adicionar maior heterogeneidade na representação dos autores e padrões de comportamento da urbanização.

A atual investigação surge embasada na plataforma de modelagem CityCell a partir qual inicialmente Polidori (2005) e mais recentemente Saraiva e outros (2013) produziram diversos modelos de simulação de crescimento urbano. Segundo a estrutura da plataforma, o ambiente de modelagem é definido por atributos urbanos, ambientais e institucionais que são representados numa grelha de células quadradas em diferentes intensidades e podem assumir comportamento de atração ou resistência à urbanização, interagindo segundo regras de vizinhança para simular processos de crescimento urbano.

A proposta atual inclui representação da sociedade para popular esse ambiente modelado. Formada por agentes autônomos e capazes de tomada de decisão, a população do modelo é capaz de ler o ambiente modificar suas ações em resposta, assim como em reação às ações de

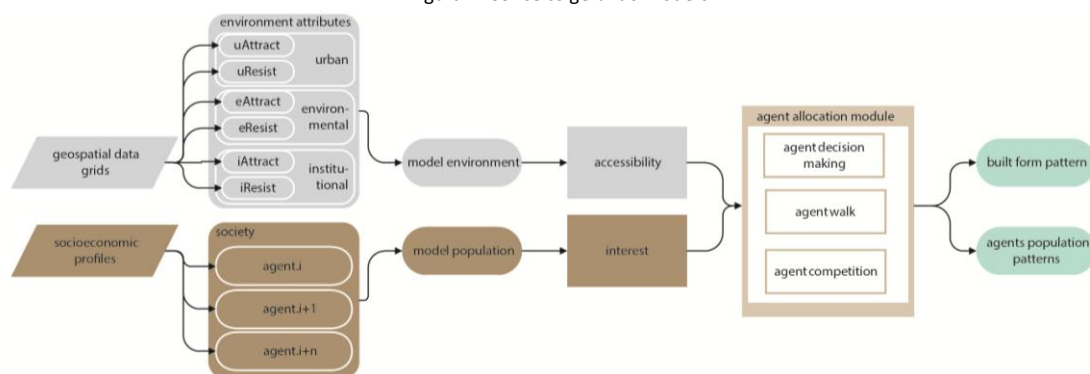
² No original “order we observe ‘emerges’ from actions and decisions where individuals and agents respond to their environment and each other, competitively and collaboratively from the bottom up.”

outros tipos agentes. As categorias dos agentes são definidas pelo modelador e permanecem fixas ao longo das simulações. Podem representar sujeitos sociais como perfis socioeconômicos ou coletivos variados. Esses agentes habitam exclusivamente as células urbanas, mas as escolhem de acordo com suas possibilidades. Com essa estrutura, pretende-se simular dinâmicas de competição entre os agentes, simulando ocupação de estoques finitos de forma construída ou tolerância a convivência com diferentes em etapa posterior do modelo.

6 DINÂMICAS MODELADAS

O crescimento da forma urbana é produto das dinâmicas da medida de acessibilidade ponderada de Saraiva (2013), que ocorre a partir da interação entre as células, sendo que aquelas carregadas com atração à urbanização passam a fazer parte dos caminhos para todas as demais células, para as quais se calcula a distância. A célula com maior acessibilidade é aquela com menor distância a todas as demais que participam desses caminhos. As resistências à urbanização atuam aumentando as distâncias efetivas aos caminhos entre as células, como espécie de impedância (WU e HOOBS, 2007 apud SARAIVA, 2013). A taxa de crescimento celular é fixa e determinada pelo modelador e o modelo combina mecanismos determinísticos e pseudoaleatórios para distribuição do crescimento urbano em que a probabilidade de uma célula ser urbanizada é proporcional a sua acessibilidade (SARAIVA, 2013). O produto final desse processo é um padrão de distribuição da forma urbana. Sobre este padrão é adicionada camada de agentes, conforme definido na Figura 1. Em paralelo ao ambiente da simulação, composto pelos atributos e demonstrado na linha superior, se estabelece, na linha inferior, a sociedade simulada, representada através dos agentes. Essas duas dimensões interagem através do processo de alocação dos agentes.

Figura 1: Conceito geral do modelo.



A alocação inicia com a construção de uma matriz de possibilidades de acesso ao ambiente de urbanização. A matriz conjuga as capacidades dos agentes para buscar e apropriar-se de cada um dos atributos do ambiente. Essas capacidades são representadas na forma de pesos para cada categoria de agente e em referência a cada um dos atributos. Esse peso pode variar entre valores positivos e negativos, simbolizando a capacidade ou incapacidade dos agentes, respectivamente, a determinada condição do ambiente expressa no atributo. A acessibilidade é ponderada de forma semelhante, contanto com a adição do parâmetro da acessibilidade-alvo, que é um valor de referência na escala da acessibilidade que considera não apenas as intenções dos agentes, mas sua capacidade de obtenção. A acessibilidade-alvo é comparada com os valores existentes de acessibilidade e então se multiplica as distâncias encontradas entre a realidade e o alvo pelo peso determinado para a medida de acessibilidade. Produz, no



estágio atual de desenvolvimento do modelo, uma distribuição potencial de cada categoria de agentes, baseada nas suas possibilidades e sensível dinamicamente às condições do ambiente em cada iteração.

7 ESTUDO EXPERIMENTAL PARA JAGUARÃO/RS

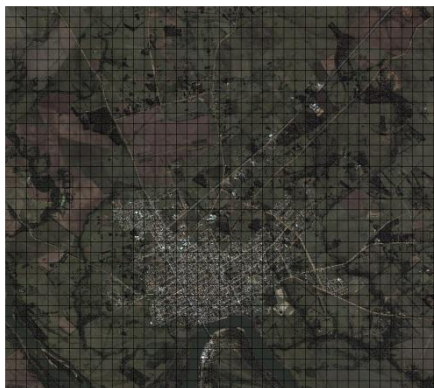
O município de Jaguarão tem sido estudado de forma recorrente pelo Laboratório de Urbanismo/UFPEL, com o qual se vinculam os pesquisadores. Trabalhos de extensão, ensino de graduação e pesquisa têm sido realizados de forma sistemática e provido dados importantes sobre o município.

Constitui-se experimento tentativo sobre este município, localizado no extremo sul do Brasil, junto à fronteira com o Uruguai e que já foi simulado por Saraiva (2013), em seu modelo de acessibilidade. O experimento busca verificar a seguinte hipótese: há influência das decisões individuais nos padrões de ocupação do solo, especialmente quando se considera pobreza?

Para tanto, o delineamento do experimento segue:

- 1 simular o crescimento municipal na plataforma CityCell utilizando o modelo baseado em acessibilidade de Saraiva (2013);
- 2 ponderar a distribuição dos agentes a partir da influência de atributos urbanos, naturais e da medida de acessibilidade (obtida em no primeiro passo), como resultado das escolhas de alocação dos agentes;
- 3 considerar a distribuição de renda como *proxy* da pobreza no município para o ano de 2010, a partir de dados censitários para o município;
- 4 verificar a influência dos atributos selecionados, buscando evidências da vinculação dos atributos aos sujeitos sociais representados na forma de agentes.

Figura 2: Ambiente de modelagem. Imagem de satélite da área urbana de Jaguarão/RS em 2009 com *grid* de células de 200m.



Fonte: mapa dos autores sobre imagem de satélite *Quickbird*.

O crescimento urbano foi determinado considerando cenário de acessibilidade ponderada por fatores ambientais (SARAIVA, 2013). Para tanto, parametrizou-se o modelo para os inputs da Tabela 1 com pesos aplicados exclusivamente às dinâmicas de crescimento urbano.

Tabela 1: Atributos de entrada do modelo de acessibilidade ponderada por fatores ambientais.

atributo	tipo	peso na calibração
núcleo urbano de 1947	urbano/atração	1,0
município de Rio Branco (UY)	urbano/freezing	0
rio Jaguarão	urbano/freezing	0
bacias hidrográficas	natural/resistência	0,7
camada aleatória	natural/resistência	0,3

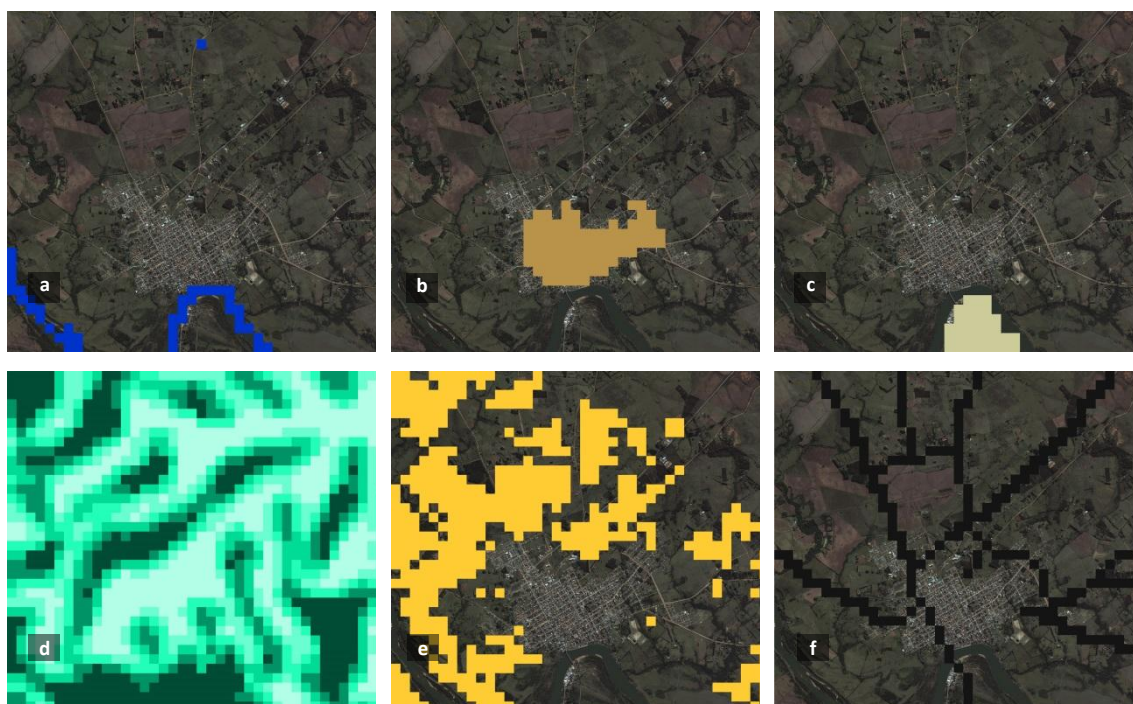
Fonte: Saraiva (2013).

Tabela 2: Agentes modelados e parâmetros de possibilidade e acessibilidade-alvo.

agentes	acessibilidade		urbanos			ambientais	
	alvo	possibilidade ³	núcleo 1947	rodovias	rio Jaguarão	bacias	plantações
renda baixa	0,2	3	3	9	1	3	3
renda media	0,6	1	3	1	3	1	1
renda alta	0,9	3	1	3	3	1	1

Fonte: dos autores.

Figura 3: Atributos do modelo – a) Rio Jaguarão; b) área efetivamente urbanizada em 1947; c) território de Rio Branco, no Uruguai; d) bacias hidrográficas (valores escuros são fundos de vale e claros divisores de água); e) plantações; e f) estradas.



Fonte: Saraiva (2013).

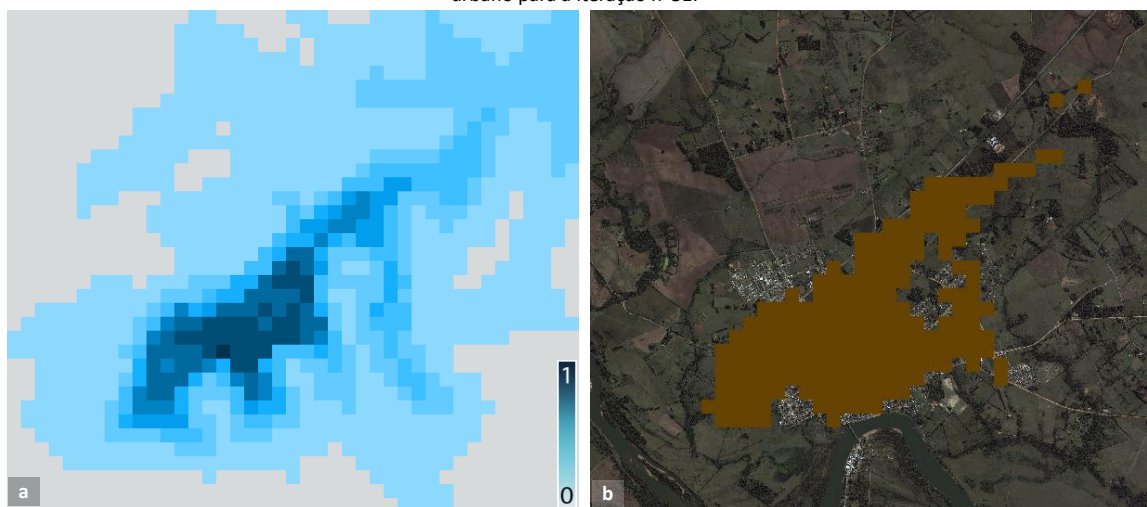
O ambiente de modelagem engloba o entorno estendido da área urbana de Jaguarão em 2009 e resulta numa área retangular (Figura 2) que é dividida em 1.476 células de 200x200m. Os atributos da simulação de crescimento (além de plantações e estradas que não participaram diretamente) são ilustrados na Figura 3.

³ Devido às características matemáticas da medida de acessibilidade, sua ponderação deve ser majorada para ter influência ante aos demais atributos. Aplicou-se um fator de correção de 50 nas ponderações com outros atributos.

A partir desses inputs, foi executada a simulação de crescimento, obtendo-se o padrão de crescimento urbano e de acessibilidade ponderada ilustrados na Figura 4. A esses foram relacionados três tipos de agentes: de baixa, média e alta renda. Aos agentes, foram atribuídos parâmetros de acessibilidade-alvo e de possibilidade em cada um dos atributos modelados, constantes na Tabela 2.

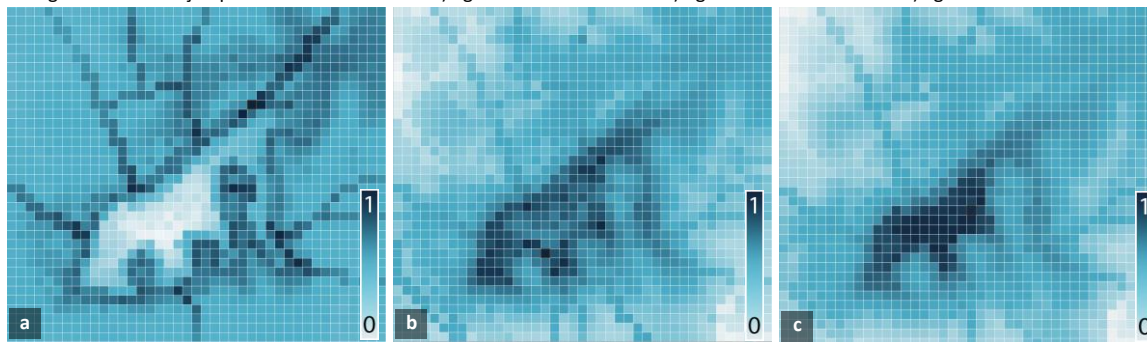
Realizou-se então a verificação da influência do parâmetro da acessibilidade-alvo para três tipos de agentes modelados, que delimitou uma matriz particular de possibilidade relativa à acessibilidade. Em seguida, verificou-se o impacto dos demais parâmetros para cada agente.

Figura 4: Outputs do modelo de acessibilidade – a) medida de acessibilidade relativa para a iteração nº31; b) células do tipo urbano para a iteração nº31.



Fonte: simulação dos autores, sobre base de Saraiva (2013).

Figura 5: Ponderação por todos os atributos – a) agentes de renda baixa. b) agentes de renda média. c) agentes de renda alta.



Fonte: dos autores.

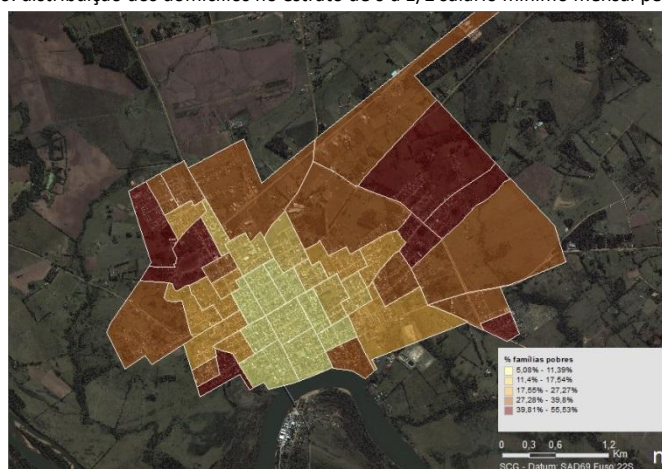
8 DISCUSSÃO

Em relação à validade do modelo, nota-se que os resultados são verossímeis, de forma adequada aos padrões de ocupação por famílias de baixa renda, apesar de não alcançar precisão. A distribuição do padrão concêntrico à mancha urbana (Figura 7) se aproxima da distribuição dos pobres ao redor do Centro Histórico de Jaguarão (áreas mais claras na Figura 6). É aparente também o efeito dos atributos das estradas (Figura 3f), demonstrando a sensibilidade esperada.

Avaliando os valores das matrizes de possibilidades para as populações de baixa renda, nota-se que valores altos, próximos a 0,95⁴, se distribuem na forma de um colar, ao redor da área urbanizada. Essas células ainda não são prevalentemente urbanas (o que lhes daria tipo celular – *celltype* – urbano), mas já têm acessibilidade e se tornarão urbanas em iterações posteriores. Essas possibilidades elevadas coincidem com a função precursora que as urbanizações pobres desempenham nas periferias urbanas, ocupando áreas de pouca ou nenhuma urbanização, nas bordas do que já é ocupado, como uma “vanguarda” de urbanização e podem ser exploradas por populações mais abastadas posteriormente, em processos de substituição (ABRAMO, 2007), ou “recontextualização” (BARROS, 2012).

A acessibilidade (como *proxy* de qualidade da urbanização) indica atuação em dois movimentos: no primeiro, exclui das possibilidades das populações mais pobres as áreas centrais (áreas mais claras na Figura 7); num segundo passo, cria uma grande gama de possibilidades nas áreas de borda da mancha urbana, com valores médios a altos (que na simulação ficam entre 0,80 e 0,94). A quantidade de localizações potenciais para os pobres é grande e suas escolhas decorrerão segundo influência de outros atributos, como acesso a estradas (testadas aqui), equipamentos urbanos, titularidade da posse, condição ambiental e outros que tornam difícil prever qual serão as localizações eleitas de fato. Longe de implicar que populações pobres “pertencem” em áreas de baixa qualidade urbana, pretende-se compreender de forma mais qualificada como os demais atributos da urbanização atuam nas suas escolhas locais, afastando suas decisões de comportamentos médios ou que tragam de forma implícita um “pensamento único” (ARANTES; VAINER; MARICATO, 2000).

Figura 6: distribuição dos domicílios no estrato de 0 a 1/2 salário mínimo mensal per capita⁵.

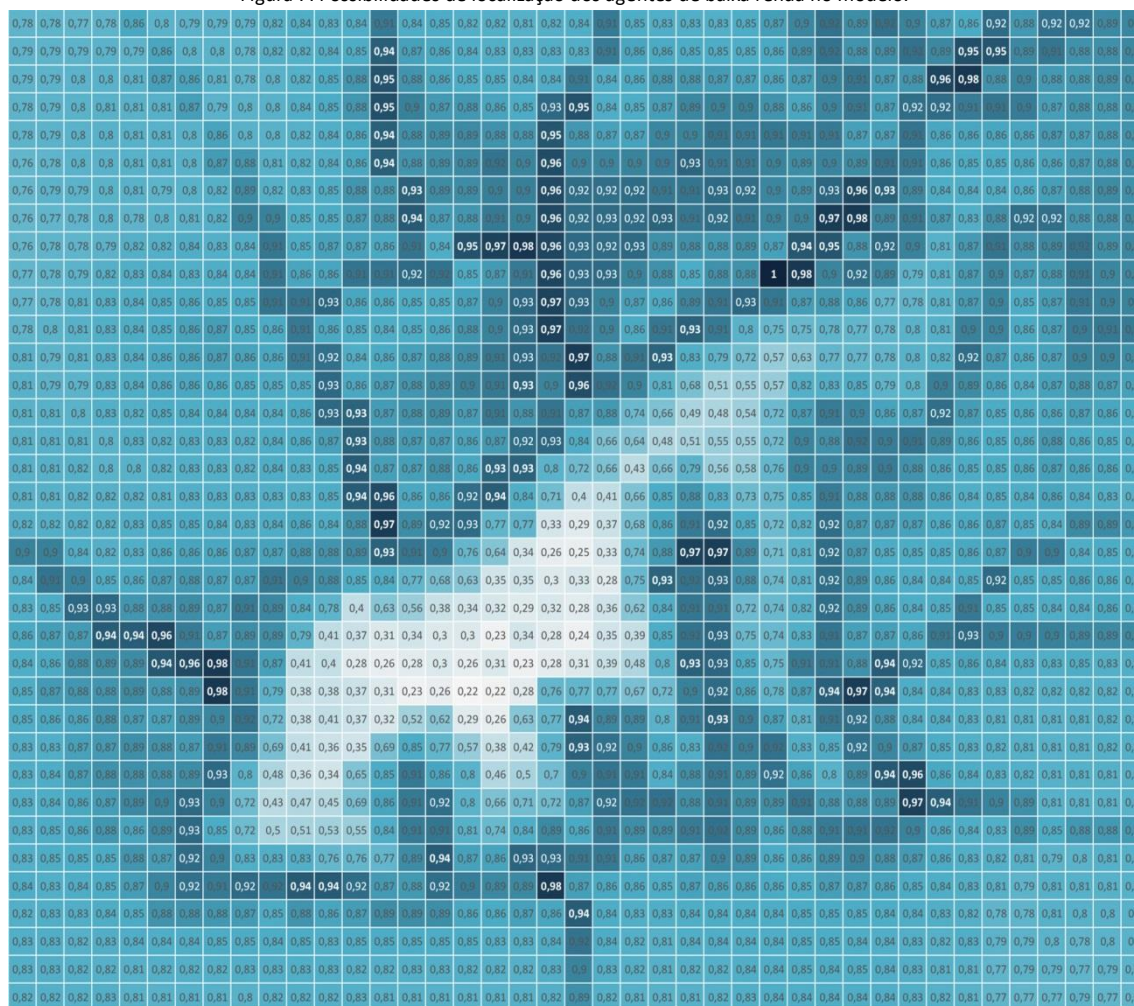


Fonte: mapa dos autores sobre base de dados IBGE (2011).

⁴ De uma escala de 0 a 1, sendo 1 a mais alta possibilidade.

⁵ Considerando a multidimensionalidade da pobreza, entende-se que a renda não deve ser o único fator envolvido para sua localização, o que deve ser considerado em experimentos futuros.

Figura 7: Possibilidades de localização dos agentes de baixa renda no modelo.



Fonte: dos autores.

Apesar desses resultados iniciais, ainda não é possível notar diferenciação do padrão de alocação que corresponda aos setores com maior concentração de famílias pobres (áreas mais escuras na Figura 6). Esse fato parece denotar a necessidade de aumento da precisão na determinação dos pesos, assim como na seleção dos atributos vinculados a alocação de cada classe social simulada. Faz-se interessante, portanto, ir à busca de dados complementares e referências empíricas e teóricas que qualifiquem a caracterização das possibilidades dessas populações para sua localização.

9 CONCLUSÃO

De forma geral, o modelo permite investigar padrões ajustados de associação entre agentes sociais e atributos urbanos, naturais ou institucionais. Essa associação propicia que se investigue a influência de diversos atributos nos processos de tomada de decisão, o que já parece útil para avaliação analítica de efeitos de políticas públicas e intervenções urbanas através da “intuição afiada, especulação informada e adivinhação embasada⁶” (COUCLELIS, 1997, p. 165).

⁶ No original: “[...] sharpened intuition, informed speculation and educated guess.”



Ainda possibilita avançar no desenvolvimento da tomada de decisão calcada em bases geográficas e sociais de forma associada, inserindo os modelos de crescimento urbano junto a uma importante tradição da modelagem social (TIMMERMANS; GOLLEDGE, 1990).

A proposta flexibiliza também as capacidades do CityCell com a adição de micro-especificação (EPSTEIN; AXTELL, 1996) dos pesos entre agentes e atributos. Pode-se assim gerar hipóteses de modelagem com maior clareza dos pressupostos teóricos e empíricos sobre os quais se experimenta e incluir o princípio de racionalidades autônomas nos modelos.

Nesse sentido, a teoria do desenvolvimento desigual (HARVEY, 1978; WALKER, 1978) e o agravamento das desigualdades (DAVIS, 2006a) estariam representados pelo crescimento urbano baseado em acessibilidade ponderada e pelos padrões de ocupação desiguais produzidos para os agentes.

A interpretação do ambiente pelos agentes e suas possibilidades, capacidades e ação de movimentação e conflito traz aproximação à economia urbana heterodoxa. A partir da visão neo-institucional da economia (ABRAMO, 2007), os mercados residenciais formal e informal são refletidas nas racionalidades diversas com as quais operam os agentes nas simulações: heterogeneidade de possibilidades locais e ambientais, tolerância às diferenças, poder, informação e tomada de decisão.

As relações de segregação socioespacial e cidade (FEITOSA et al., 2012) e a interação entre pobreza, forma urbana e ambiente natural (ALBERTI et al., 2003; OJIMA; HOGAN, 2009) podem ser vistas através da interação, em processos de tomada de decisão, da população de agentes com o ambiente modelado, especialmente através da busca ou rejeição de topografia, hidrografia, áreas de mata, etc.

O desenvolvimento do modelo deverá empregar a ponderação demonstrada aqui como base para alocação dos agentes nas células, sua movimentação e competição entre categorias de agentes. Assim, ainda que ausente nesse momento, acredita-se ser possível investigar dinâmicas entre sujeitos sociais com as influências dos atributos do ambiente modelado. A partir de então seria composto mecanismo de simulação nas três esferas de dinâmicas disponíveis para os ABM (PATEL; CROOKS; KOIZUMI, 2012): entre ambiente versus ambiente, durante o crescimento urbano; agentes versus ambiente no processo de alocação; e finalmente agentes versus agentes, no processo de competição.

Finalmente, busca explicitar o papel de processos de cooperação e competição (EPSTEIN; AXTELL, 1996) no crescimento e ocupação da forma urbana ao colocar a variável da copresença (CAMPOS-CASTILLO; HITLIN, 2013; TIMMERMANS; GOLLEDGE, 1990) na escolha das localizações dos agentes.

Existem também outras limitações no desenvolvimento atual do modelo. Metodologicamente a ponderação ainda depende de ajustes à sua matemática para evitar que uma medida contínua (acessibilidade) perca sua capacidade de diferenciação ante medidas discretas (existência de um rio, presença de matas, etc.). Empiricamente ainda é necessário intensificar a atribuição de pesos, que ainda não provém de pesquisa específica, mas de revisão bibliográfico-teórica. Da mesma forma, ainda há dificuldade quanto à validação dos resultados e experimentos como esse, que revelem as vinculações entre atributos e fenômenos sociais, devem ser realizados e verificados com maior profundidade.

Metodologicamente, busca-se acrescentar à plataforma CityCell (SARAIVA; POLIDORI; PERES, 2013) importante dimensão da pesquisa em modelagem urbana contemporânea, especialmente para tratar de descontinuidades do comportamento individual; formação de estados de ordem complexa; e dissociação da racionalidade dos indivíduos de tendências homogêneas e equilibradas.



Ante aos fenômenos empíricos observados, espera-se poder estudá-los em contraste com paisagem de intensidades variadas de desenvolvimento urbano, atributos naturais e concentração de tipos de agentes, que permita a análise da expansão e fragmentação da forma urbana, segregação socioeconômica, simulação de efeitos de políticas urbanas etc. Os resultados finais esperados são a formação de paisagem com intensidades variadas de desenvolvimento urbano, atributos naturais, institucionais e urbanos e tipos de agentes. Sinteticamente, ela deverá permitir a análise da expansão e fragmentação da forma urbana, segregação socioeconômica, simulação de efeitos de políticas urbanas e outros, ampliando a capacidade de resposta já constante nos modelos desenvolvidos.

REFERÊNCIAS

- ABRAMO, P. A Cidade Com-Fusa: a mão inoxidável do mercado e a produção da estrutura urbana nas grandes metrópoles latino-americanas. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 9, n. 02, p. 25–53, 2007.
- ALBERTI, M. et al. Integrating Humans into Ecology: Opportunities and Challenges for Studying Urban Ecosystems. **BioScience**, v. 53, n. 12, p. 1169–1179, 1 dez. 2003.
- ARANTES, O. B. F.; VAINER, C. B.; MARICATO, E. **A cidade do pensamento único: desmanchando consensos**. Rio de Janeiro: Editora Vozes, 2000.
- ASCHER, F. **Os novos princípios do urbanismo**. São Paulo: Romano Guerra, 2010. p. 104
- BARROS, J. Exploring Urban Dynamics in Latin American Cities Using an Agent-Based Simulation Approach. In: HEPPENSTALL, A. J. et al. (Eds.). **Agent-Based Models of Geographical Systems**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2012. p. 561–579.
- BATTY, M. Complexity in city systems: understanding, evolution, and design. **CASA Working Papers**, v. 44, 2007.
- BATTY, M. Building a science of cities. **Cities**, v. 29, n. 1, p. S9–S16, mar. 2012.
- BATTY, M.; TORRENS, P. M. Modelling and prediction in a complex world. **Futures**, v. 37, n. 7, p. 745–766, set. 2005.
- BERUBE, A.; KNEEBONE, E. Two Steps Back: City and Suburban Poverty Trends 1999–2005. In: **Living Cities Census Series**. Washington DC: Brookings Institution Press, 2006. p. 1–24.
- BÓGUS, L. M. M.; TASCHNER, S. P. São Paulo: velhas desigualdades, novas configurações espaciais. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 1, p. 153–174, 1999.
- BUZAI, G. D. **Geografia Global: El paradigma geotecnológico y el espacio interdisciplinario en la interpretación del mundo del siglo XXI**. Buenos Aires: Lugar Editorial, 1999.
- CAMPOS-CASTILLO, C.; HITLIN, S. Copresence: Revisiting a Building Block for Social Interaction Theories. **Sociological Theory**, v. 31, n. 2, p. 168–192, 1 jun. 2013.
- CHIN, N. Unearthing the roots of urban sprawl: a critical analysis of form, function and methodology. **CASA Working Papers**, v. 47, p. 0–25, 2002.
- COUCLELIS, H. From cellular automata to urban models: new principles for model development and implementation. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 24, n. 2, p. 165–174, 1997.
- DAVIS, M. **Planeta favela**. 1a. ed. São Paulo: Boitempo Ed., 2006a. p. 272
- DAVIS, M. **City of quartz: Excavating the future in Los Angeles**. 1a. ed. London: Verso, 2006b. p. 462
- EPSTEIN, J. M.; AXTELL, R. **Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up**. Washington DC: Brookings Institution Press, 1996. p. 220
- FEITOSA, F. F. et al. Countering urban segregation in Brazilian cities: policy-oriented explorations using agent-based simulation. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 39, n. 6, p. 1131–1150, 2012.
- HARVEY, D. The urban process under capitalism: a framework for analysis. **International Journal of Urban and Regional Research**, v. 2, n. 1-4, p. 101–131, 12 mar. 1978.



- HEPPENSTALL, A. J. et al. **Agent-Based Models of Geographical Systems**. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer, 2012. p. 759
- IBGE. **Censo Demográfico 2010: dados do universo agregados por setores**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: [<ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_do_Universo/Agregados_por_Setores_Censitarios/>](ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_do_Universo/Agregados_por_Setores_Censitarios/).
- KOOLHAAS, R. **La Ciudad Generica**. 1a. ed. Barcelona: Gustavo Gilli, 1997. p. 62
- OJIMA, R.; HOGAN, D. J. Mobility, Urban Sprawl and Environmental Risks in Brazilian Urban Agglomerations: challenges for urban sustainability. In: SHERBINIIN, A. et al. (Eds.). **Urban Population-Environment Dynamics in the Developing World: Case Studies and Lessons Learned**. Paris: Committee for International Cooperation in National Research in Demography (CICRED), 2009. p. 281–316.
- PANERAI, P.; CASTEX, J.; DEPAULE, J.C. **Formas Urbanas: a dissolução da quadra**. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- PATEL, A.; CROOKS, A. T.; KOIZUMI, N. Slumulation: An Agent-Based Modeling Approach to Slum Formations. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 4, n. 15, 2012.
- POLIDORI, M. C. et al. **Crescimento urbano, formação de periferias e modelagem urbana com autômatos celulares** PLURIS 2010: 4o Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano e Regional, Integrado e Sustentável. **Anais...**Faro: PLURIS, 2010
- POLIDORI, M. C.; KRAFTA, R. Simulando Crescimento Urbano com Integração de Fatores Naturais, Urbanos e Institucionais. **Geofocus**, v. 5, p. 156–179, 2005.
- PORTUGALI, J. Notions concerning the nature of world urbanization. **Progress in Planning**, v. 46, n. 3, p. 145–162, 1996.
- PORTUGALI, J. **Self-Organization and the City**. Berlin: Springer, 2000. p. 355
- SARAIVA, M. V. P. **Simulação de crescimento urbano em espaços celulares com uma medida de acessibilidade: método e estudo de caso em cidades do sul do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2013.
- SARAIVA, M. V. P.; POLIDORI, M. C.; PERES, O. M. **CityCell** Pelotas Laboratório de Urbanismo (LABURB); Universidade Federal de Pelotas, , 2013.
- SASSEN, S. **Globalization and its discontents: Essays on the new mobility of people and money**. New York: New Press, 1999. p. 253
- SCOTT, A.; STORPER, M. Regions, globalization, development. **Regional studies**, v. 37, n. 6-7, p. 549–578, 2003.
- SIETCHIPING, R. **A Geographic Information Systems and Cellular Automata-Based Model of Informal Settlement Growth**. Melbourne: University of Melbourne, 2004.
- SMITH, N. Uneven development and location theory: towards a synthesis. In: PEET, R.; THRIFT, N. (Eds.). **New models in geography**. London: Unwin Hyman, 1989. v. 1p. 142–163.
- SOJA, E. W. The Socio-Spatial Dialectic. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 70, n. 2, p. 207–225, 1980.
- TIMMERMANS, H.; GOLLEDGE, R. G. Applications of behavioural research on spatial problems II: preference and choice. **Progress in Human Geography**, v. 14, n. 3, p. 311–354, 1 set. 1990.
- UN-HABITAT. **State of the World's Cities 2010/2011 - Cities for All: Bridging the Urban Divide**. London: United Nations Human Settlements Programme, 2010. p. 224
- VAZ, L. F. Dos cortiços às favelas e aos edifícios de apartamentos — a modernização da moradia no Rio de Janeiro. **Análise Social**, v. 29, n. 127, p. 581–597, 1994.
- WALKER, R. A. Two Sources of Uneven Development Under Advanced Capitalism: Spatial Differentiation and Capital Mobility. **Review of Radical Political Economics**, v. 10, n. 3, p. 28–38, 1 out. 1978.