



# XIV Encontro Nacional da ANPUR

23 a 27 · maio · 2011 · Rio de Janeiro

---

XIV ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR  
Maio de 2011  
Rio de Janeiro - RJ - Brasil

---

CIDADE E COMPLEXIDADE: MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE DINÂMICAS  
DE SEGREGAÇÃO URBANA

**Flávia da Fonseca Feitosa** (INPE) - flafeitosa@gmail.com

*Arquiteta-urbanista, pesquisadora de pós-doutorado do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).*

**Quang Bao Le** (ETH Zurich) - quang.le@env.ethz.ch

**Antônio Miguel V. Monteiro** (INPE) - miguel@dpi.inpe.br

**Paul L. G. Vlek** (ZEF) - p.vlek@uni-bonn.de

# Cidade e Complexidade

## Modelagem e Simulação Computacional de Dinâmicas de Segregação Urbana

### Resumo

A segregação residencial pode ser entendida como uma propriedade emergente de um sistema urbano complexo: apresenta um padrão espacial coerente e observável a nível macro que é gerado a partir de inúmeras interações no nível micro, onde muitas famílias estão constantemente tomando decisões a respeito de sua localização residencial. Tais características impõem dificuldades ao estudo da segregação por intermédio de ferramentas tradicionais, que são incapazes de explorar as relações “micro-macro” que regem o fenômeno. Contribuindo nesta direção, este artigo caracteriza as dinâmicas de segregação sob a ótica da teoria da complexidade e apresenta uma alternativa analítica capaz de capturar dinâmicas de segregação de maneira “*bottom-up*” (de baixo para cima): a modelagem e simulação baseada em agentes. Exemplos de simulações realizadas com um modelo empírico, o MASUS (*Multi-Agent Simulator for Urban Segregation*), são apresentados para ilustrar a potencialidade desta ferramenta.

### 1. Introdução

O acelerado processo de urbanização brasileiro dos últimos 40 anos, no qual a população das cidades cresceu de 44% para os atuais 87% (UNITED NATIONS, 2010), resultou em configurações urbanas desordenadas e repletas de injustiças sociais que evidenciam a necessidade de explorar oportunidades latentes que as cidades, enquanto motores de desenvolvimento econômico e social, são capazes de oferecer. Embora comumente associadas à concentração de pobreza, proliferação de favelas e desordens sociais, as áreas urbanas também têm tradicionalmente assumido o papel de centros de

crescimento econômico e inovação, graças as suas vantagens competitivas como economia de aglomeração e a uma série de externalidades positivas relacionadas, por exemplo, à disponibilidade de infraestrutura, equipamentos e mão-de-obra qualificada (TODARO e SMITH, 2008). As cidades, em particular as de maior magnitude, são responsáveis por uma substancial criação de renda e riqueza: a região metropolitana de São Paulo, por exemplo, que conta com cerca de 10% da população brasileira, representa quase 25% do PIB do país (IBGE, 2007; 2009). Para que este capital gerado nas cidades represente uma oportunidade de mitigação e prevenção da pobreza, é essencial a remoção das barreiras que inibem a formação de *cidades inclusivas*, ou seja, cidades capazes de promover crescimento econômico com equidade (UN-HABITAT, 2001). A **segregação urbana** representa uma destas barreiras, cujos impactos vêm perpetuando e exacerbando a exclusão social de determinados grupos populacionais na cidade.

Situações de acentuada segregação residencial estão comumente associadas à imposição de prejuízos para famílias em desprivilegiada condição socioeconômica, como dificuldades de acesso a equipamentos e serviços urbanos, infraestrutura precária ou inexistente e uma maior exposição a deslizamentos, enchentes e problemas de saúde. A combinação entre exclusão e segregação está também relacionada à redução das oportunidades de qualificação profissional e emprego, à discriminação racial e social, a uma maior exposição à violência, bem como à aquisição de um conjunto de valores, expectativas e condutas que dificultam uma mobilidade social ascendente (CALDEIRA, 2000; SABATINI, CÁCERES *et al.*, 2001; TORRES, 2004; BICHIR, 2006).

Uma compreensão mais detalhada sobre as dinâmicas de segregação representa condição básica para a elaboração e implementação de políticas urbanas capazes de efetivamente minimizar o fenômeno e seus efeitos. No entanto, estudos que buscam avançar neste sentido são desafiados pelo fato da segregação apresentar inúmeras características comumente identificadas em entidades conhecidas como **sistemas complexos**. De acordo com Batty e Torrens, um sistema complexo é “uma entidade que apresenta uma coerência reconhecível, mas cujos elementos, interações e dinâmicas geram estruturas e admitem surpresas que não podem ser definidas *a priori*” (BATTY e TORRENS, 2005, p. 745, tradução nossa). Dentro desta perspectiva, a segregação urbana revela-se como um padrão espacial coerente e observável a nível macro, na escala da cidade como um todo, mas que emerge das interações e decisões residenciais de inúmeras famílias a nível micro, na escala local.

A natureza complexa da segregação impõe restrições ao uso de ferramentas tradicionais para o estudo do fenômeno, como modelagem estatística ou técnicas de otimização clássica. Ao invés do foco na correlação entre elementos ou na idéia de

equilíbrio, é necessário capturar as dinâmicas de segregação de maneira “*bottom-up*” (de baixo para cima), priorizando o processo e não o produto. Contribuindo nesta direção, este artigo tem como objetivo caracterizar as dinâmicas de segregação urbana sob a perspectiva da teoria da complexidade e apresentar uma alternativa analítica mais apropriada para explorar a natureza complexa do fenômeno: a modelagem e simulação computacional baseada em agentes. Exemplos de simulações realizadas com um modelo empírico baseado em agentes, o MASUS (Multi-Agent Simulator for Urban Segregation), são apresentados para ilustrar a potencialidade deste instrumental.

## 2. A Natureza Complexa da Segregação Urbana

A segregação urbana é um fenômeno espacialmente explícito cuja configuração global é formada a partir de interações locais entre inúmeros indivíduos. A idéia de que “o todo é mais do que a soma das partes” (SIMON, 1996, p. 231) é chave para a compreensão desta definição sob a ótica da complexidade, e ilustra a distinção entre sistemas complexos e sistemas meramente complicados. Um sistema complicado é composto por muitos elementos independentes e pode ser compreendidos a partir de uma abordagem reducionista, que parte de estudos isolados destes elementos. No entanto, quando a dependência entre os elementos atômicos que compõe o sistema assume papel de destaque, o sistema passa de complicado a complexo, e a abordagem reducionista de análise perde sua eficiência (HOLLAND, 1998; MILLER e PAGE, 2007).

Em um sistema complexo, muitos elementos heterogêneos e autônomos interagem em nível local e dão origem às propriedades globais do sistema. Estas propriedades, que são chamadas de **emergentes** (HOLLAND, 1998), retroalimentam o sistema e afetam seu nível local, que por sua vez interfere na emergência das propriedades globais e assim por diante (Figura 1). A idéia de emergência aplica-se à segregação urbana, já que sua macro-estrutura, observada na escala da cidade, emerge das interações entre muitas famílias no nível micro, que estão constantemente tomando decisões a respeito de sua localização residencial. Segregação pode ser compreendida, portanto, como uma *propriedade emergente de um sistema urbano complexo*.

Além do princípio da emergência, inúmeros outros conceitos que compõe o tecido da complexidade são úteis aos estudos de segregação urbana, entre eles os de não-linearidade, adaptação e auto-organização. A segregação urbana é resultante de *interações não-lineares* entre muitas famílias em constante disputa em torno da apropriação das melhores localizações residenciais. Tais interações são capazes de gerar padrões espaciais globais inesperados e não intuitivos (SCHELLING, 1971). As mudanças no estado do sistema são induzidas pelas decisões residenciais de famílias *heterogêneas*, cujas diferenças (ex.:

culturais, de nível de informação, de necessidades, renda, etc.) interferem em sua tomada de decisão. Estas decisões dependem ainda do *contexto* em que são tomadas e são constantemente *adaptadas* à situação vigente. Elas também não são necessariamente brilhantes (MILLER e PAGE, 2007), dado que as famílias possuem limitações de conhecimento e capacidade de processar informações, ou seja, suas decisões resultam de uma *racionalidade limitada* (BENENSON e TORRENS, 2004).

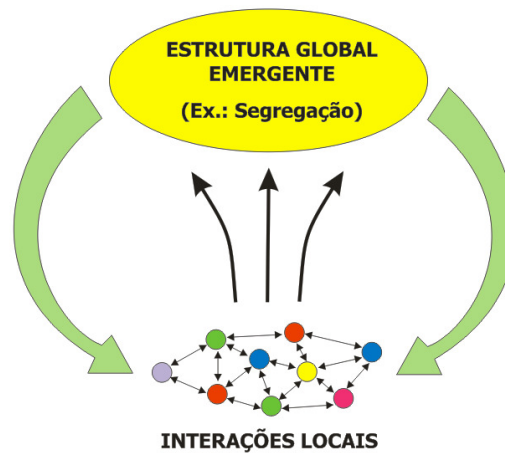


Figura 1. O princípio da emergência. Adaptado de Ben-Dov (1995)

Existem muitos mecanismos contextuais que podem influenciar as decisões residenciais das famílias: mercado imobiliário, preferências pessoais, mercado de trabalho e políticas públicas. Todos estes fatores são *dinâmicos* e não apenas influenciam, como podem também ser influenciados pelas decisões das famílias sobre onde morar. Por exemplo, enquanto as escolhas residenciais das famílias são constantemente restringidas pelo mercado imobiliário, a distribuição espacial destas famílias com distintos atributos (sociais, étnicos, etc.) consolida bairros com determinadas reputações, estigmas e características que afetam as dinâmicas do mercado imobiliário (mecanismo de *retroalimentação*). Os distintos níveis de interações do sistema são também *auto-organizados*, sendo capazes de gerar padrões coerentes sem que haja qualquer autoridade centralizadora responsável por seu gerenciamento e controle (HOLLAND, 1998). Além disso, as dinâmicas de segregação são caracterizadas por uma *dependência de trajetória* (*path dependence*), já que decisões e estados passados afetam as possibilidades futuras. Finalmente, a segregação apresenta um forte componente *espacial*: as decisões são condicionadas pelo espaço e são sobre o espaço, ou seja, as famílias estão constantemente avaliando o ambiente da cidade e suas decisões, influenciadas por sua localização atual, dizem respeito a sua localização futura.

Sob esta perspectiva complexa, segregação não pode ser simplesmente compreendida a partir de uma ótica reducionista que busca investigar seus “micro-

elementos” individualmente, como por exemplo, estudos sobre preferências residenciais das famílias e outros fatores que influenciam seu processo de decisão (SOUTH e DEANE, 1993; KNAPP, WHITE *et al.*, 2001). Também não é possível entender as dinâmicas de segregação somente por intermédio de investigações situadas no outro extremo, que enfatizam sua “macro-estrutura”, como por exemplo, estudos que medem e mapeiam os padrões de segregação resultantes do arranjo espacial global dos grupos sociais (FEITOSA, CÂMARA *et al.*, 2007). Estas abordagens que lidam com as dimensões micro e macro da segregação são, na verdade, complementares. É importante reconhecer fatores que influenciam a mobilidade residencial de distintos perfis de famílias (nível micro), assim como dispor de ferramentas capazes de descrever e quantificar padrões de segregação (nível macro). No entanto, estas linhas de investigação não são capazes de explorar as relações “micro-macro” que regem o fenômeno da segregação. Para tanto, é necessário uma *ferramenta capaz de representar processos dinâmicos*, que considere as tomadas de decisão familiares e demonstre como as dinâmicas de mobilidade residencial resultantes destas decisões geram novos padrões globais de segregação. Uma ferramenta promissora para o alcance deste objetivo são os modelos de simulação computacional, em particular os baseados em agentes.

### **3. Modelagem Baseada em Agentes para Estudos de Segregação Urbana**

Modelagem baseada em agentes (ABM - *agent-based modeling*) consiste em um conjunto de unidades tomadoras de decisão, denominadas agentes, que interagem umas com as outras e com o ambiente em que estão situadas. Os agentes são autônomos e heterogêneos e estão constantemente agindo de acordo com um conjunto de regras que podem ser modificadas por intermédio de um processo de adaptação ou aprendizagem (GILBERT, 2008). Por ser capaz de simular explicitamente processos de interação que ocorrem a nível local, ABM permite que pesquisadores explorem de maneira natural e intuitiva a emergência “*bottom-up*” de macro-estruturas como, por exemplo, padrões de segregação.

O modelo de segregação racial de Thomas Schelling é reconhecido como o primeiro modelo baseado em agentes para um estudo de dinâmicas sociais (SCHELLING, 1971; 1978). O modelo representa o espaço urbano como uma grade regular sobre a qual os agentes (famílias) são localizados aleatoriamente. Os agentes pertencem a dois grupos populacionais distintos, brancos e negros, e apresentam certo grau de tolerância em relação ao outro grupo: eles permanecem satisfeitos em locais diversificados, desde que o número de vizinhos de mesma cor seja suficientemente alto. Caso contrário, as famílias mudam-se para outro local, escolhido aleatoriamente. Seria sensato presumir que em casos como este,

em que agentes são bastante tolerante quanto à presença de membros de outro grupo, nenhum padrão de segregação emergiria. No entanto, a simulação de Schelling demonstrou o fato inesperado de que padrões de intensa segregação racial emergem mesmo em situações em que a preferência das famílias é pouco tendenciosa, quando aceitam ser minoria na vizinhança e permanecem satisfeitas desde que a porcentagem de vizinhos pertencentes a outros grupos não ultrapasse, por exemplo, 70%. Este modelo simples e abstrato ilustra como a ABM pode contribuir para uma melhor compreensão a respeito da emergência de estruturas globais inesperadas a partir de interações locais.

O trabalho de Schelling inspirou muitos outros, que desenvolveram variações de seu modelo através da adoção de funções de utilidade alternativas (CLARK, 1991; PANCS e VRIEND, 2003; BRUCH e MARE, 2006), inclusão de preferências individuais sobre a qualidade do domicílio e do bairro (FOSSETT e SENFT, 2004), utilização de noções diferenciadas de vizinhança (LAURIE e JAGGI, 2003; O'SULLIVAN, MACGILL *et al.*, 2003; FOSSETT e WARREN, 2005), adição de princípios de teoria dos jogos (ZHANG, 2004) e utilização de representações geométricas vetoriais (CROOKS, 2008).

Apesar da existência de muitos modelos baseados em agentes para estudos de segregação, são ainda poucos os que simulam dinâmicas de cidades reais a partir de dados empíricos. Benenson e colegas, por exemplo, desenvolveram um modelo de segregação étnica para um bairro de Tel Aviv, onde residem árabes e judeus (BENENSON, OMER *et al.*, 2002). Outro exemplo é o modelo de Bruch (2006), que explora a relação entre fatores raciais e econômicos e como ambos interferem na mobilidade residencial e na produção e manutenção de bairros racialmente segregados em Los Angeles. Para a realidade brasileira, Feitosa e colegas (FEITOSA, 2010; FEITOSA, LE *et al.*, 2010) apresentam o modelo MASUS (Multi-Agent Simulator for Urban Segregation), que simula a emergência de padrões de segregação socioeconômica. Detalhes adicionais deste modelo, cujo primeiro protótipo foi construído para a cidade de São José dos Campos, no Estado de São Paulo, são apresentados a seguir.

#### **4. MASUS: Um Simulador Multi-Agente para Segregação Urbana**

O modelo MASUS é uma ferramenta desenvolvida para representar segregação como uma propriedade emergente de sistemas urbanos complexos. É um laboratório virtual para a simulação de cenários alternativos que explorem como distintos mecanismos contextuais podem influenciar a emergência de padrões de segregação urbana.

O modelo conceitual que serve como base para a especificação do MASUS (Figura 2) representa o sistema urbano por intermédio de dois sub-sistemas principais: a *população-*

*urbana* e o *ambiente-urbano*. A *população-urbana* apresenta componentes em níveis micro, meso e macro:

- a. No nível micro, *agentes* representam famílias que residem na cidade, e possuem um estado e um sub-modelo de tomada de decisão sobre sua localização residencial. O estado dos agentes é composto por um conjunto de variáveis que influenciam o processo de tomada de decisão das famílias sobre onde morar (Tabela 1).
- b. No nível meso, estão os *grupos populacionais*, ou seja, um conjunto de agentes/famílias que pertencem ao mesmo grupo social. Na atual versão do MASUS, grupos sociais são definidos pela renda do chefe de família. Considerando que agentes do mesmo grupo adotam estratégias semelhantes ao avaliar suas alternativas residenciais, as variáveis que compõe o estado de um grupo incluem um conjunto de coeficientes (ou pesos) que refletem a importância relativa de vários fatores ambientais e socioeconômicos para o processo de tomada de decisão das famílias que compõe o grupo.
- c. O nível macro é composto pela totalidade dos agentes, a *população*, cujo estado é descrito por variáveis não espaciais (ex.: tamanho e nível de desigualdade de renda da população) e espaciais (ex.: índices de segregação que descrevem o arranjo espacial dos distintos grupos sociais).

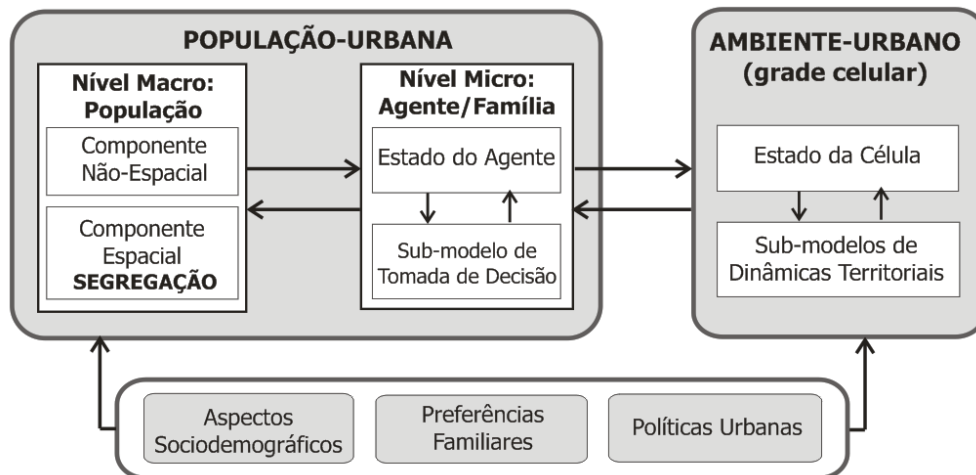


Figura 2. Modelo conceitual do MASUS. Adaptado de FEITOSA (2010).

O sub-sistema *ambiente-urbano* representa o ambiente onde os agentes/famílias estão situados. Proporciona um contexto espacialmente explícito para a tomada de decisão das famílias sobre sua localização residencial. O ambiente urbano é composto por uma grade de células, onde cada célula representa uma porção com dimensões de 100 m x 100



m. O estado das células é definido por variáveis que são relevantes de maneira direta ou indireta para as decisões dos agentes sobre sua localização residencial, como por exemplo, valor da terra e qualidade da infraestrutura. As variáveis que definem o estado das células, bem como dos demais componentes do modelo MASUS, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Variáveis que definem os estados dos componentes do modelo MASUS.

<b>Nível Micro</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Subsistema</b>
<i>Agente (família)</i>	Renda, nível educacional e idade do chefe de família; grupo socioeconômico, tamanho, presença de crianças, condição de ocupação do domicílio (proprietário ou não) e localização.	<i>População-urbana</i>
<i>Célula</i>	<i>Aspectos físicos/ uso do solo:</i> declividade do terreno, ocupação urbana, infraestrutura e tipo de bairro. <i>Acessibilidade:</i> distância do centro e distância das principais vias <i>Zoneamento:</i> área de aproveitamento, áreas protegidas, zonas residenciais/comerciais/mistas/etc. <i>Mercado Imobiliário:</i> valor da terra, densidade de domicílios e oferta de domicílios.	<i>Ambiente-urbano</i>
<b>Nível Meso</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Subsistema</b>
<i>Grupo Socioeconômico</i>	Coefficientes obtidos empiricamente (modelos logísticos aninhados) que refletem a importância relativa de fatores ambientais e socioeconômicos sobre as decisões de localização residencial das famílias.	<i>População-urbana</i>
<b>Nível Macro</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Subsistema</b>
<i>População</i>	<i>Não-espaciais:</i> características sociodemográficas, incluindo o tamanho da população, distribuição de renda e composição social. <i>Espaciais:</i> Índices de segregação globais e locais	<i>População-urbana</i>
<i>Ambiente Urbano</i>	Extensão urbana, número total de domicílios, etc.	<i>Ambiente-urbano</i>

De acordo com seu sub-modelo de tomada de decisão, um agente pode decidir mudar-se para outro local ou não. Esta decisão depende do estado do agente e de sua percepção sobre distintas localizações residenciais. Tais percepções são influenciadas pelas características ambientais (subsistema *ambiente-urbano*) e pela composição populacional das alternativas residenciais (subsistema *população-urbana*). A mobilidade residencial dos agentes, resultante deste processo de tomada de decisão, produz mudanças no arranjo espacial da população, ou seja, nos padrões de segregação da cidade (nível macro do subsistema *população-urbana*). Além disso, o comportamento dos agentes

também influencia certas características do ambiente urbano, como o valor da terra e a oferta de domicílios.

#### 4.1 Implementação do modelo MASUS

O primeiro protótipo do MASUS foi implementado na plataforma NetLogo (WILENSKY, 1999) para a cidade de São José dos Campos, no Estado de São Paulo. A Figura 3 apresenta o protocolo de simulação executado pelo programa, que inclui os seguintes procedimentos (FEITOSA, LE *et al.*, 2010):

- a. Configurar o estado inicial do sistema;
- b. Inicializar o ciclo anual;
  - i. Executar o sub-modelo de tomada de decisão;
  - ii. Calcular índices de segregação e estatísticas populacionais;
  - iii. Relatar os resultados da simulação (estatísticas, mapas e gráficos);
- Atualizar o estado da população-urbana e ambiente-urbano para o próximo ciclo;
  - iv. Repetir o ciclo anual.

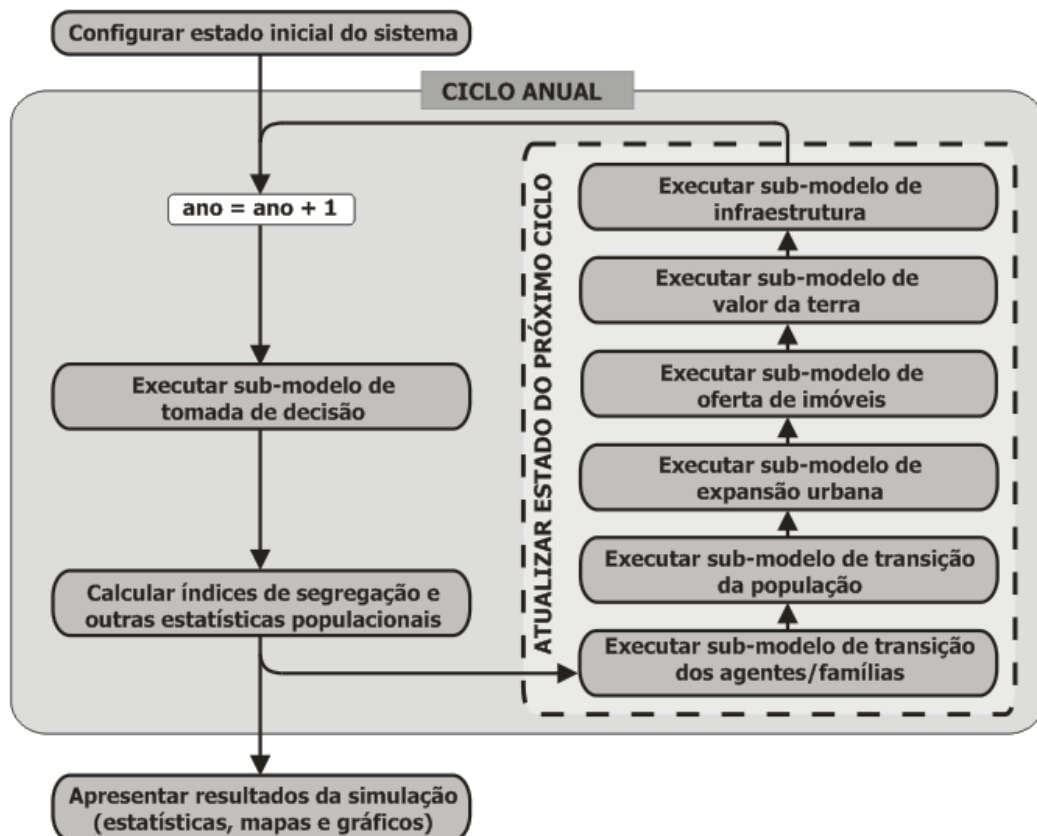


Figura 3. Protocolo de simulação do MASUS. Adaptado de FEITOSA *et al.* (2010).

A *configuração inicial do estado* do sistema consiste em importar dados georeferenciados que caracterizem a população (agentes) e o ambiente urbano (células) da área de estudo no ano inicial ( $t_0$ ). Além disso, é o momento de configuração de parâmetros de acordo com cenários definidos pelo usuário (por exemplo, que teste o impacto de uma determinada política pública). Em seguida, é possível dar início ao *ciclo anual de simulação*. O primeiro procedimento deste ciclo anual é a execução do *sub-modelo de tomada de decisão*, que representa o principal “motor” do MASUS. Neste sub-modelo, cada agente calcula sua satisfação (função de utilidade) diante de diferentes alternativas residenciais e terá uma probabilidade maior de selecionar aquela que lhe proporcionar um maior nível de satisfação, considerando os condicionantes impostos por suas condições socioeconômicas (ex.: preço da terra). Cada agente pode escolher entre as alternativas: (a) permanecer na localização atual, (b) mudar-se para outro domicílio dentro do mesmo bairro, (c) mudar-se para um mesmo tipo de bairro/assentamento, por exemplo, de um assentamento irregular para outro em situação semelhante ( $n$  localizações são selecionadas), e (d) mudar-se para outro tipo de bairro, por exemplo, de um bairro diversificado para um condomínio fechado ( $m$  localizações são selecionadas). Os parâmetros das funções de utilidade foram obtidos a partir de modelos logísticos aninhados, cujos detalhes são apresentados em Feitosa (2010).

Após a execução do sub-modelo de tomada de decisão, que promove uma mudança no arranjo espacial dos grupos populacionais, *índices de segregação e estatísticas populacionais são calculados e apresentados* ao usuário na forma de mapas, gráficos ou números absolutos. Em seguida, o programa *atualiza o estado do sistema* para o próximo ciclo anual. Para tanto, são executados uma série de sub-modelos que simulam dinâmicas das características dos agentes (ex.: envelhecimento), da população (ex.: crescimento populacional), e do espaço urbano (ex.: expansão urbana, oferta de imóveis, qualidade da infraestrutura e valor da terra). As especificações e calibração empírica destes sub-modelos estão em Feitosa (2010). Finalmente, o programa atualiza o ano da simulação e *repete o ciclo anual*.

#### **4.2 Experimentos de Simulação: Políticas de “Dispersão da Pobreza”**

Para ilustrar o potencial do MASUS, esta Seção apresenta um exemplo de experimento que simula o efeito de uma política anti-segregação sobre as dinâmicas de segregação da cidade de São José dos Campos. A política avaliada, muito utilizada em países da Europa e nos Estados Unidos, baseia-se na distribuição de subsídios mensais para o aluguel de moradias. Estes subsídios são fornecidos para que famílias de baixa renda, moradoras de bairros deteriorados e com altos níveis de segregação, possam mudar-se para residências localizadas em bairros cuja taxa de pobreza seja menor do que um

determinado limiar. O programa habitacional *Moving to Opportunity*, nos Estados Unidos, é um exemplo de iniciativa nesta direção. Os impactos positivos deste programa, que distribuiu *vouchers* para que famílias pobres paguem seu aluguel em bairros com taxa de pobreza menor do que 10%, vêm sendo constantemente monitorados por pesquisadores interessados em avaliar efeitos de vizinhança sobre as condições de vida familiares (CLAMPET-LUNDQUIST e MASSEY, 2008; LUDWIG, LIEBMAN *et al.*, 2008).

O experimento realizado no MASUS compara um cenário “base”, que reproduz as dinâmicas de segregação ocorridas de 1991 a 2000, com dois cenários alternativos nos quais benefícios para o pagamento de aluguel são distribuídos. No experimento, *n* famílias pobres localizadas em bairros de alta concentração de pobreza recebem o benefício e podem mudar-se para bairros cuja concentração de pobreza seja abaixo da média da cidade. Para o período 1991-2000, são executados dois cenários com progressiva distribuição de benefícios: (a) de 200 a 1700 benefícios e (b) de 500 a 4200 benefícios.

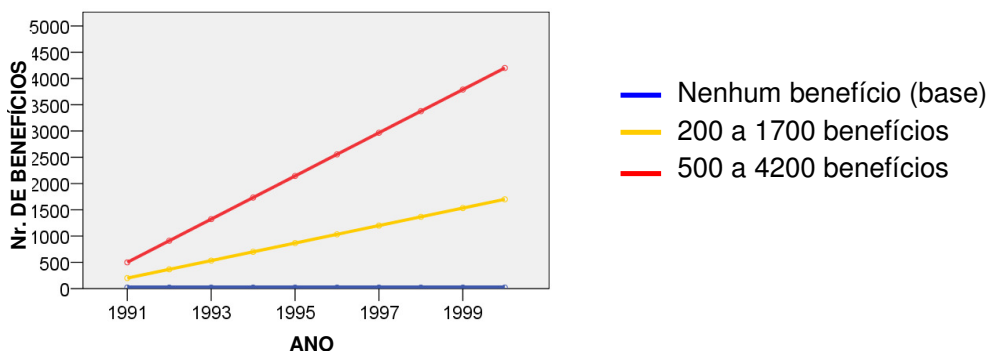


Figura 4. Cenários executados para o experimento: número de benefícios distribuídos durante o período 1991-2000.

O estado inicial do experimento replica as características de São José dos Campos em 1991 através da utilização de dados censitários, imagens de satélite, informações sobre o mercado imobiliário obtidas a partir de jornais da época e mapas fornecidos pela prefeitura da cidade. A população inicial representa as 106.591 famílias residentes na cidade em 1991, cujos perfis foram obtidos a partir dos microdados do universo do Censo Demográfico, que são fornecidos apenas para este ano em particular.

Para avaliar os resultados dos experimentos, foram calculados índices globais e locais de segregação propostos por FEITOSA *et al.* (2007). Índices globais são aqueles que expressam o grau de segregação da cidade como um todo, enquanto os índices locais possibilitam a observação do grau de segregação nos distintos pontos da cidade e podem ser apresentados como “mapas de segregação”. Os seguintes índices foram adotados:

- a. Índice espacial de dissimilaridade generalizado: sua versão global ( $\check{D}$ ) mede como a composição populacional de cada vizinhança difere, em média, da composição populacional da cidade como um todo. O índice varia de 0 a 1 (segregação máxima). Sua versão local ( $\check{d}$ ) mostra o quanto cada vizinhança contribui para a medida global.
- b. Índice espacial de isolamento do grupo  $m$ : sua versão global ( $\check{Q}_m$ ) mede a proporção média do grupo  $m$  na vizinhança de cada família pertencente a este mesmo grupo. O índice varia de 0 a 1 (máxima segregação). Por exemplo, para se obter um índice de isolamento igual a 1, seria necessário que todas as famílias do grupo  $m$  tivessem apenas vizinhos do mesmo grupo (100%). Os valores do índice são influenciados pela composição populacional da cidade como um todo, portanto, havendo uma diminuição da proporção do grupo  $m$  na cidade como o todo, o valor de  $\check{Q}_m$  tende a diminuir. O índice também apresenta uma versão local ( $\check{q}_m$ ).

Os índices de segregação foram calculados para duas escalas de vizinhança diferentes: (a) uma escala local, onde a vizinhança de uma família compreende a área contida em um raio de 700 m a partir de sua residência, e (b) uma escala mais abrangente, cujo raio utilizado para a definição da vizinhança é de 2000 m.

#### 4.2.1 Análise dos Experimentos

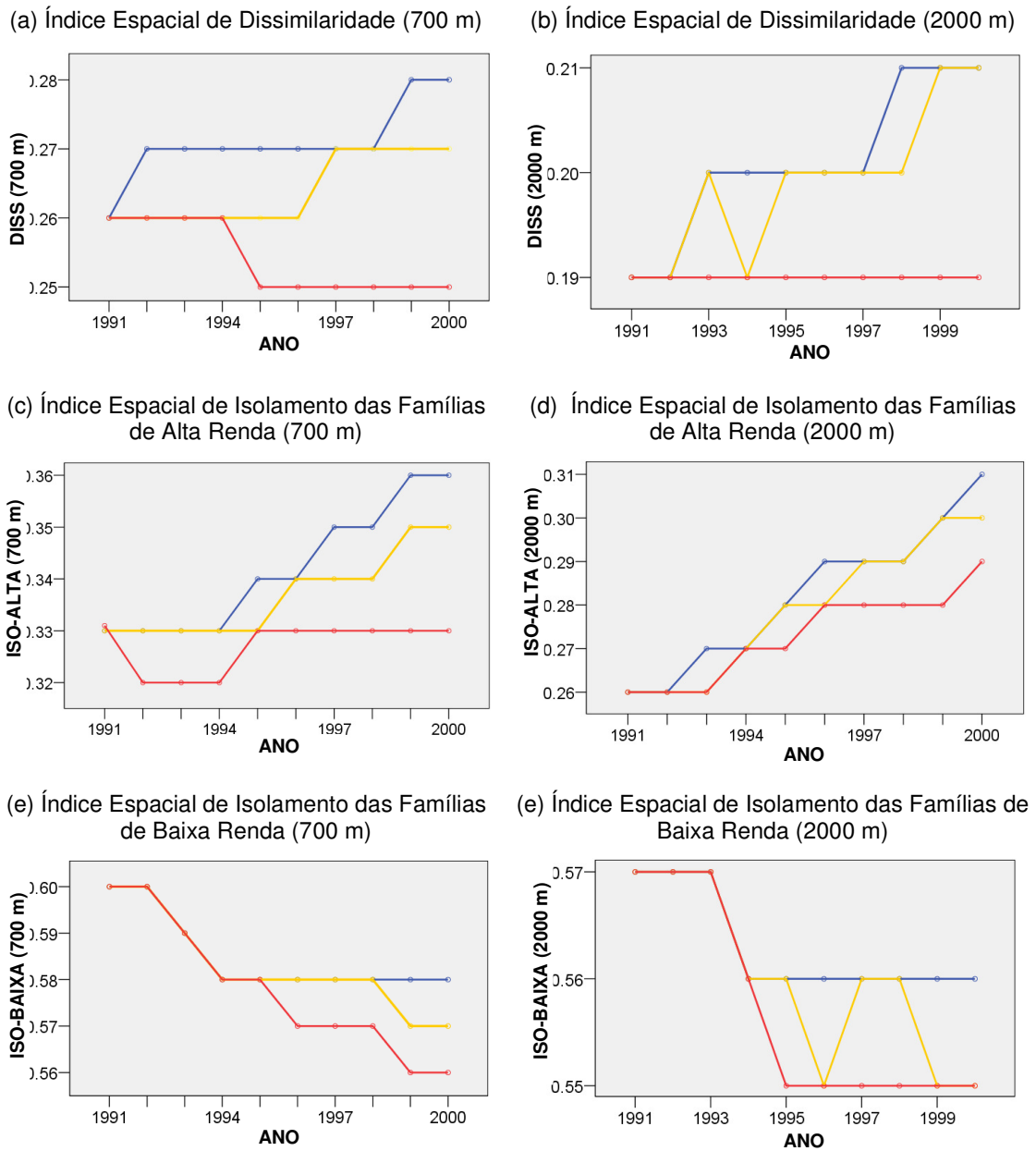
Os gráficos da Figura 5 apresentam a progressão dos índices globais de segregação durante o período 1991-2000 para os três cenários simulados: base (nenhum benefício), alternativa 1 (200 a 1700 beneficiários), e alternativa 2 (500 a 4200 beneficiários). Os gráficos mostram ainda índices calculados para distintas escalas de vizinhança (raio de 700 e 2000 m).

O índice global de dissimilaridade  $\check{D}$  calculado para a escala local de vizinhança (700 m) subiu de 0,26 para 0,28 no cenário base, e para 0,27 no cenário alternativo 1 (Figura 5a). Isto significa dizer, que no cenário alternativo 1, a distribuição de benefícios para 1700 famílias, que correspondiam a 2,3% das famílias pobres no ano de 2000, provocou uma diminuição de 3,5% no índice de dissimilaridade. Já no segundo cenário alternativo, a distribuição de benefícios para 5,8% das famílias pobres (4.200 famílias) diminuiu o índice de dissimilaridade em 10,7% (de 0,28 para 0,25).

O impacto positivo da distribuição dos benefícios foi menos significativo quando observadas escalas de segregação mais abrangentes (Figura 5b). No cenário base, o índice

global de dissimilaridade  $\tilde{D}$  computado para vizinhanças delimitadas por um raio de 2000 m aumentou de 0,19 para 0,21. O primeiro cenário alternativo apresentou índices iguais ou levemente inferiores durante a simulação do período 1991-2000, enquanto o segundo cenário alternativo manteve níveis de dissimilaridade constantes durante o mesmo período.

**Dispersão Espacial da Pobreza: Índices Globais de Segregação, Período 1991-2000**  
**Raio de vizinhança = 700 m e 2000 m**



Cenários: — Nenhum benefício (base)      — Alternativo 1: 200 a 1700 benefícios      — Alternativo 2: 500 a 4200 benefícios

Figura 5. Progressão dos índices globais de segregação para os cenários 1991-2000.

A interpretação dos índices globais de isolamento ( $\tilde{Q}_m$ ) exige atenção em virtude da sensibilidade de seus valores à proporção dos grupos sociais na área de estudo. Durante o período 1991-2000, a proporção das famílias com renda mais alta (mais de 10 salários mínimos) aumentou de 0,15 para 0,19, e seu isolamento espacial calculado para vizinhanças com raio de 700 m aumentou de 0,33 para 0,36 no cenário base (Figura 5c). Isto significa que, em média, 36% dos vizinhos de uma família com renda superior também pertenciam ao mesmo grupo de renda em 2000. Este valor é muito superior à proporção deste grupo na cidade, que era de 19% em 2000.

O isolamento espacial das famílias de alta renda diminuiu significativamente com o aumento dos investimentos no programa habitacional. Comparando o cenário base com o primeiro cenário alternativo, a distribuição de benefícios para 2,3% das famílias pobres (1700 famílias) provocou um decréscimo de 2,8% do isolamento das famílias de alta renda (de 0,36 para 0,35). Considerando o segundo cenário alternativo, a distribuição de benefícios para 5,8% das famílias pobres está associada a uma diminuição de 8,3% no índice de isolamento das famílias de alta renda (de 0,36 para 0,33).

Apesar destas tendências positivas, o programa habitacional não foi capaz de proporcionar uma melhora substancial dos níveis globais de isolamento das famílias pobres (Figura 5e-f). Comparando o cenário base com o cenário alternativo 1, a distribuição de benefícios para 2,3% das famílias pobres diminuiu o isolamento deste grupo em apenas 1,7% (de 0,58 a 0,57). No segundo cenário alternativo, a distribuição de benefícios para 5,8% das famílias pobres causou um decréscimo de 3,4% no isolamento deste grupo (de 0,58 para 0,56). A contribuição do programa para a diminuição do isolamento das famílias pobres foi ainda menos significativo quando analisados os índices computados para escalas de vizinhança mais abrangentes (raio de 2000 m). Neste caso, a distribuição de 1700 benefícios (cenário alternativo 1) não diminuiu o isolamento das famílias pobres, enquanto a distribuição de 4200 benefícios (cenário alternativo 2) diminuiu o isolamento em apenas 1,8%. Estas constatações representam limitações importantes da política, visto que a isolamento das famílias pobres, especialmente em grande escala, representa uma dimensão espacial da segregação responsável por significativos impactos negativos sobre as condições de vida de famílias menos privilegiadas em termos socioeconômicos.

Os índices locais de segregação complementam as análises globais ao indicarem como (e se) os padrões de segregação espacial se modificaram com a implementação das políticas. A Figura 6 mostra os índices locais de segregação na forma de mapas, com cores mais escuras representando níveis mais elevados de segregação. Os mapas revelam uma limitação adicional da política testada: a distribuição de benefícios não foi capaz de alterar

os padrões espaciais de segregação da cidade. Nos dois cenários apresentados, cenário base e alternativo 2, os mapas de dissimilaridade mostram altos níveis de segregação nas áreas centrais e na região sul da cidade no ano 2000 (Figura 6a-b). Os mapas de isolamento complementam esta informação ao apontar que os altos níveis de dissimilaridade das áreas centrais são causados pelo isolamento de famílias de alta renda (Figura 6c-d), enquanto os níveis de dissimilaridade no sul estão relacionados ao isolamento de famílias de baixa renda (Figura 6e-f).

**Dispersão Espacial da Pobreza: Índices Locais de Segregação**

**Ano 2000, Raio de vizinhança = 700 m**

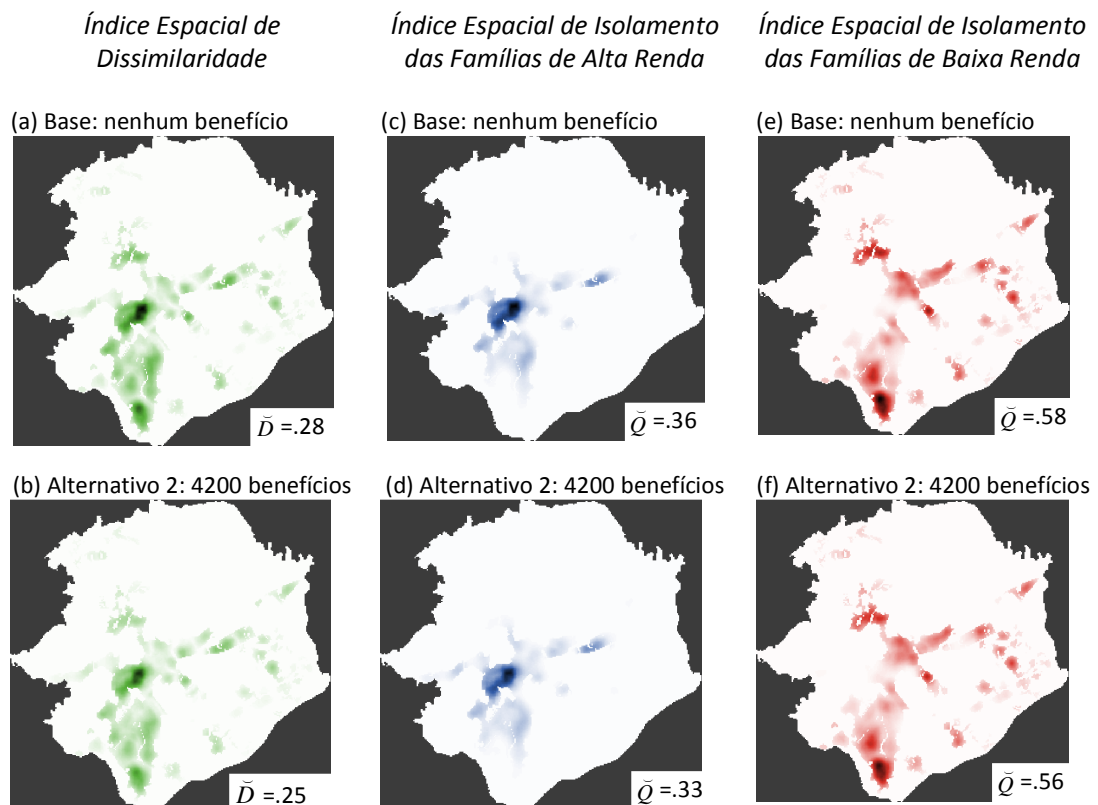


Figura 6. Índices locais de segregação (raio de 700 m) de dois cenários de simulação para o ano 2000: cenário base e cenário alternativo 2 (4200 benefícios). Cores escuras representam níveis mais altos de segregação.

Os resultados dos experimentos indicam que, em cidades cuja composição populacional revela uma alta proporção de famílias pobres, políticas baseadas na distribuição de benefícios para o pagamento de aluguel demandariam um investimento massivo e constante para produzir mudanças significativas nos níveis globais e locais de segregação da cidade. No entanto, o benefício desta política pode não estar relacionado à



mudanças dos níveis de segregação da área urbana como um todo, mas a uma série de vantagens associadas à melhoria das estruturas de oportunidades das famílias que recebem o benefício, com possíveis impactos para gerações presentes e futuras. Tais vantagens podem incluir o acesso a uma melhor qualidade de ambiente natural e construído, maior diversidade das redes sociais de vizinhança, melhor acesso a distintas fontes de informação, mais oportunidades de emprego e educação, e redução da vulnerabilidade ao crime. Neste sentido, a política avaliada pode ser considerada uma estratégia “*people-based*” (FEITOSA e WISSMANN, 2006).

No Brasil, onde as políticas de habitação seguem a cultura nacional da “casa própria”, medidas baseadas na distribuição de benefícios para o pagamento de aluguel são raramente implementadas. Iniciativas nesta direção, como o “bolsa aluguel”, podem ser encontradas, mas nenhuma focada à diminuição da segregação urbana. Estas iniciativas são geralmente adotadas como uma alternativa temporária para casos de emergência (ex.: moradias destruídas em desastres naturais) ou na realocação de famílias que vivem em áreas de risco. Em função do baixo valor do bolsa aluguel, as famílias geralmente se mudam para outros bairros que também apresentam altos níveis de concentração de pobreza, em regiões periféricas com precárias condições de moradia. Além disso, a distribuição do benefício é prevista por um período limitado, geralmente inferior a 30 meses, o que aumenta a situação de incerteza e vulnerabilidade das populações beneficiadas.

## 5. Considerações Finais

Compreendida como uma propriedade emergente de um sistema urbano complexo, a segregação urbana apresenta uma macro-estrutura que resulta de inúmeras interações a nível micro, ocorridas entre famílias que estão constantemente tomando decisões sobre onde morar. Para explorar estas relações “micro-macro” que regem a segregação, são necessárias ferramentas que não apenas capturem o estado da segregação (por exemplo, mapas e medidas), mas sejam também capazes de representar processos inerentes às dinâmicas de segregação. Os modelos de simulação computacional, em particular os baseados em agentes, representam um instrumento promissor para a representação destes processos, pois permitem que pesquisadores explorem de maneira intuitiva a emergência de padrões globais de segregação a partir das dinâmicas de mobilidade residencial intra-urbana.

Refletindo um movimento em direção ao relativismo, os modelos baseados em agentes permitem uma nova postura frente ao uso de ferramentas de modelagem, no qual o modelo como produto dá lugar ao **processo de construção e uso do modelo**. Em

contraste com modelos tradicionais, muitas vezes tratados como uma “caixa-preta” ou “bola de cristal”, o objetivo de modelos como o MASUS não é a de produzir previsões quantitativas e exatas ou a de fornecer uma resposta determinística sobre as melhores políticas a serem adotadas com o intuito de minimizar a segregação das cidades. Ao contrário, estes modelos são ferramentas para compartilhar visões, levantar dúvidas, estruturar discussões e debates.

Modelos de simulação podem ser entendidos com um laboratório, que auxiliam na compreensão de um problema de duas maneiras: (a) no processo de construção deste laboratório, que é contínuo; e (b) no projeto, interpretação e validação dos experimentos de simulação. Por permitir a união de teorias e dados empíricos, bem como de métodos quantitativos e qualitativos, a construção e uso de modelos pode envolver pessoas de diferentes comunidades, com interpretações distintas sobre cada fase do processo. O reconhecimento, negociação e discussão sobre estas distintas interpretações abrem caminho para uma construção compartilhada do conhecimento no qual o modelo, compreendido como uma ferramenta exploratória, possa assumir também um papel de **objeto mediador**. Assim, estas representações computacionais recuperam uma leitura do fenômeno urbano que compartilha percepções e experiências e que devolve aos estudos urbanos a possibilidade de exploração “empírica” de seu objeto central através de experimentos de simulação.

## **Referências Bibliográficas**

- BATTY, M.; TORRENS, P. Modelling and prediction in a complex world. **Futures**, v. 37, n. 7, p. 745-766, 2005.
- BEN-DOV, Y. Complexity and Emergence: An Interview with Chris Langton from the Santa Fe Institute. **Galileo**, v. 12, 1995.
- BENENSON, I.; OMER, I.; HATNA, E. Entity-based modeling of urban residential dynamics: the case of Yaffo, Tel Aviv. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 29, p. 491-512, 2002.
- BENENSON, I.; TORRENS, P. M. Geosimulation: object-based modeling of urban phenomena. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 28, p. 1-8, 2004.
- BICHIR, R. **Segregação e Acesso a Políticas Públicas no Município de São Paulo**. São Paulo, USP, 2006. 190 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Políticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

- BRUCH, E. E. Residential Mobility, Income Inequality, and Race/Ethnic Segregation in Los Angeles. In: Population Association of America (PAA) 2006 Annual Meeting Program, 2006. **Anais...** Los Angeles, CA, 2006.
- BRUCH, E. E.; MARE, R. D. Neighborhood choice and neighborhood change. **American Journal of Sociology**, v. 112, n. 3, p. 667-709, 2006.
- CALDEIRA, T. **Cidade de Muros. Crime, segregação e cidadania em São Paulo**. São Paulo: Ed. 34/ Edusp, 2000.
- CLAMPET-LUNDQUIST, S.; MASSEY, D. S. Neighborhood effects on economic self-sufficiency: A reconsideration of the Moving to Opportunity experiment. **The American Journal of Sociology**, v. 114, n. 1, p. 107-143, 2008.
- CLARK, W. A. V. Residential preferences and neighborhood racial segregation: a test of the Schelling segregation model. **Demography**, v. 28, n. 1, p. 1-19, 1991.
- CROOKS, A. T. **Constructing and Implementing an Agent-based Model of Residential Regregation through Vector GIS**. Centre for Advanced Spatial Analysis (UCL). London, 2008
- FEITOSA, F. F.; WISSMANN, A. **Social-mix policy approaches to urban segregation in Europe and the United States**. Bonn: Zentrum für Entwicklungsforschung (ZEF), 2006.
- FEITOSA, F. F. **Urban Segregation as a Complex System: An Agent-Based Simulation Approach**. Göttingen: Cuvillier Verlag, 2010.
- FEITOSA, F. F. et al. Global and local spatial indices of urban segregation. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 21, n. 3, p. 299-323, 2007.
- FEITOSA, F. F.; LE, Q. B.; VLEK, P. L. G. Multi-Agent Simulator for Urban Segregation (MASUS): A Tool to Explore Alternatives for Promoting Inclusive Cities. **Computers, Environment and Urban Systems**, no prelo (doi:10.1016/j.compenvurbsys.2010.06.001), 2010.
- FOSSETT, M.; SENFT, R. SIMSEG and generative models: A typology of model-generated segregation patterns. In: Agent 2004 Conference on Social Dynamics: Interaction, Reflexivity and Emergence, 2004, Chicago. **Anais...** Chicago, IL. P.39-78.
- FOSSETT, M.; WARREN, W. Overlooked implications of ethnic preferences for residential segregation in agent-based models. **Urban Studies**, v. 42, n. 11, p. 1893-1917, 2005.
- GILBERT, N. **Agent-Based Models**. London: Sage Publications, 2008.

HOLLAND, J. H. **Emergence: From Chaos to Order**. Oxford: Oxford University Press, 1998.

IBGE. **Produto Interno Bruto dos Municípios 2003-2006**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, 2007.

\_\_\_\_\_. **Estimativa das Populações Residentes Segundo os Municípios**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, 2009. 136

KNAPP, T. A.; WHITE, N. E.; CLARK, D. E. A nested logit approach to household mobility. **Journal of Regional Science**, v. 41, n. 1, p. 1-22, 2001.

LAURIE, A. J.; JAGGI, N. K. Role of 'vision' in neighbourhood racial segregation: a variant of the Schelling segregation model. **Urban Studies**, v. 40, n. 13, p. 2687-2704, Dec 2003.

LUDWIG, J. et al. What can we learn about neighborhood effects from the moving to opportunity experiment? . **American Journal of Sociology**, v. 114, n. 1, p. 144-188, 2008.

MILLER, J. H.; PAGE, S. E. **Complex Adaptive Systems: An Introduction to Computational Models of Social Life**. Princeton: Princeton University Press, 2007.

O'SULLIVAN, D.; MACGILL, J. R.; YU, C. Agent-based residential segregation: a hierarchically structured spatial model. In: Agent 2003 'Challenges in Social Simulation', 2003, Chicago. **Anais...** Chicago: University of Chicago and Argonne National Laboratory, 2003.

PANCS, R.; VRIEND, N. J. **Schelling's Spatial Proximity Model of Segregation Revisited**. London: Queen Mary University of London. Department of Economics, 2003.

SABATINI, F.; CÁCERES, G.; CERDÁ, J. Segregación residencial en las principales ciudades chilenas: tendencias de las tres últimas décadas y posibles cursos de acción. **EURE (Santiago)**, v. 27, n. 82, p. 21-42, 2001.

SCHELLING, T. C. On The Ecology Of Micromotives. **The Public Interest**, v. 25, p. 61-98, 1971.

\_\_\_\_\_. **Micromotives And Macrobehavior**. London & New York: W. W. Norton, 1978.

SIMON, H. A. **The Sciences of the Artificial**. Cambridge: MIT Press, 1996.

SOUTH, S. J.; DEANE, G. D. Race and residential mobility: individual determinants and structural constraints. **Social Forces**, v. 72, n. 1, p. 147-167, 1993.

TODARO, M. P.; SMITH, S. C. **Economic Development**. Essex: Pearson Education, 2008.

TORRES, H. G. Segregação residencial e políticas públicas: São Paulo na década de 1990. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v. 19, n. 54, p. 41-56, 2004.

UN-HABITAT. **Inclusive Cities Initiative: The Way Forward**. Nairobi: UN-Habitat, 2001.

UNITED NATIONS. **Social indicators - Indicators on human settlements 2010**.

Disponível em: < <http://unstats.un.org/unsd/demographic/products/socind/hum-sets.htm> >.

Acesso em: 16 nov. 2010.

WILENSKY, U. **NetLogo**. Evanston, IL.: Northwestern University, 1999.

ZHANG, J. Residential segregation in an all-integrationist world. **Journal of Economic Behavior and Organization**, v. 54, p. 533-550, 2004.