

Revista Brasileira de Cartografia (2016), Nº 68/4, Edição Especial Geoinformação e Análise Espacial: 843-861
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

CARACTERÍSTICAS E MEDIDAS DO URBANO: RELAÇÕES ESPACIAIS CRÍTICAS ENTRE SERVIÇOS URBANOS E USUÁRIOS

*Characteristics and Measures of Urbanity:
Critical Spatial Relationships between Urban Services and Users*

Romulo Krafta¹ & Décio Bevilacqua²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional
Rua Sarmento Leite, 320, Porto Alegre – RS, 90050-170, Brasil
krafta@ufrgs.br

²Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Centro de Tecnologia, Departamento de Arquitetura e Urbanismo
Campus Universitário – 97119900 – Santa Maria – RS – Brasil
bevilacqua.decio@gmail.com

Recebido em 9 de Agosto, 2015/ Aceito em 21 de Dezembro, 2015
Received on August 9, 2015/ Accepted on December 21, 2015

RESUMO

Este trabalho reporta pesquisa em uma das dimensões básicas da estrutura espacial urbana – a relação entre residentes e sistema de serviços, a partir da estrutura conceitual dos sistemas complexos, utilizando meios quantitativos. O pressuposto inicial é que um sistema de serviços concentrado em um ponto, oportuniza a fixação e expansão de uma população residente (ALONSO, 1964; ALLEN, 1997); o foco, entretanto, é posto na evolução do sistema, que se supõe convergente a um padrão de criticalidade auto-organizada. A hipótese básica aqui é que o sistema de serviços estimula a expansão da cidade (mediante a oferta de novas residências), aumentando continuamente a distância média do sistema, até atingir um ponto crítico (BAK, 1988). Nesse momento o sistema de serviços sofre mudança qualitativa, mediante dendrificação do centro ou centros remotos, restabelecendo níveis de distância média inferiores à do ponto crítico. Essa mudança estimula a expansão da base residencial, conduzindo o sistema a novo ponto crítico, etc. A representação dessa dinâmica sócio espacial é feita mediante um sistema que considera uma força de dispersão (expansão urbana) e outra de coesão (relação serviço-residência), bem como várias medidas de estado (distância média do sistema, convergência do subsistema de serviços, campo). O trabalho expõe as bases teóricas e metodológicas do modelo, realiza algumas simulações exploratórias iniciais, testa-as por meio de algumas verificações empíricas e sinaliza os parâmetros para a continuidade do trabalho de pesquisa. Espera contribuir para a sedimentação da urbanimetria na área dos estudos urbanos.

Palavras-chave: Estrutura Espacial Urbana, Modelística, Configuração Espacial, Planejamento Urbano.

ABSTRACT

This paper reports research on one of the basic dimensions of urban spatial structure-the relationship between residents and the service system, drawing on the conceptual structure of complex systems, using quantitative means. The initial assumption is that a system of services concentrated at one point facilitates the establishment and expansion of a

resident population (ALONSO, 1964; ALLEN, 1997); the focus, however, is on the evolution of the system, which is supposed to converge to a pattern of self-organized criticality. The basic assumption here is that the system of services stimulates the expansion of the city (by way of supply of new homes), continually increasing the system's mean distance, until it reaches a critical point (BAK, 1988). At that moment, the system of service undergoes a qualitative change, by dendrificação from the center or remote centres, restoring levels of mean distance below the critical point. This change stimulates the expansion of the residential base, leading the system to a new critical point. This socio-spatial dynamic is represented by a system that considers a dispersion force (urban sprawl) and a cohesion force (service-residence relation), as well as various state measures (mean distance, subsystem service convergence, field). In this study, we explain the theoretical and methodological bases of the model, perform some initial exploratory simulations, test them through empirical checks and indicate parameters for further research. It is our aim to contribute to lay foundations for urbanimetry in the field of urban studies.

Keywords: Urban Spatial Structure, Modelling, Spatial Configuration, Urban Planning.

1. INTRODUÇÃO

A pesquisa desenvolvida dentro do que se pode chamar “urbanimetry” – métodos e instrumentos analíticos quantitativos da estrutura espacial urbana – tem crescido exponencialmente nos últimos anos. Diferentes abordagens têm sido privilegiadas, algumas derivadas da aplicação de sistemas de informação geográfica, tanto genéricos quanto adaptados a diferentes objetivos, outras expressas na forma de sistemas ditos especialistas e agrupados sob a denominação genérica de sistemas de suporte à decisão (LONGLEY & BATTY, 2003; BATTY, 2005; TIMMERMANS, 1997). O interesse nessas abordagens reside na perspectiva de se capturar de forma mais precisa e rigorosa aspectos específicos da estrutura espacial urbana, descrever o papel desempenhado por variáveis escolhidas no processo de mudança urbana e mesmo simular a dinâmica espacial *in sílica*. Tem sido demonstrado que, em adição ao aumento da capacidade de representar quantitativamente aspectos da realidade urbana, os sistemas urbanimétricos permitem uma melhor teorização da realidade urbana. Assim, a par da instrumentação quantitativa, ganha-se *insights* da estrutura profunda do fenômeno urbano.

A pesquisa aqui reportada segue nessa linha, buscando a constituição de uma nova família de modelos grafo-numéricos, voltados a descrever e analisar as relações técnico-espaciais mantidas entre diferentes componentes do sistema de atividades urbanas. A primeira dessas relações, e talvez uma das mais relevantes para a determinação do sistema urbano, é a mantida entre consumidores e provedores de serviços e

destes entre si. Consumidores são caracterizados por preferência e localização (residencial e/ou de trabalho) e provedores por tipo, grau de complexidade e localização de pontos de oferta de serviços. A hipótese básica, melhor desenvolvida adiante, é que essa relação pode ser caracterizada por um limiar de distância ponderada pela densidade de consumo. Esse limiar, mais que um limitador de interação espacial, funcionaria simultaneamente como um indutor de re-centralização urbana e de expansão.

2. PROBLEMÁTICA

A problemática envolvendo a localização relativa de serviços e usuários residenciais tem uma longa história nos estudos urbanos, desde as primeiras teorias geográfico-econômicas da cidade monocentral (ALONSO, 1964; ainda antes PARK; BURGESS; MCKENZIE, 1925), até hoje na Nova Geografia Econômica (FUJITA; KRUGMAN; VENABLES, 2001). Considerações mais pormenorizadas quanto à relação entre firmas sugerem que estariam submetidas a duas forças concorrentes, uma de aglomeração (disputa entre firmas por áreas de mercado) e outra de dispersão (concorrência de preços, conhecida como “o princípio da diferenciação”, TIROLE, 1988). Também se viu que diferenciação de produtos pode operar como força de aglomeração, relaxando a competição por preços e favorecendo a formação de núcleos de serviço. Krugman (1991), em seu modelo “centro-periferia” acrescenta a mobilidade dos trabalhadores, assim como o mercado imobiliário, como fatores relevantes na localização relativa de serviços e consumidores.

Como fica evidente, há uma cultura científica baseada em análise econômica

pautando essa matéria, entretanto relativamente menor desenvolvimento na sua vertente espacial. A rigor, as únicas concessões ao espaço feitas por essas teorias são que ele não é livre de atrito e é heterogêneo. No âmbito dos estudos configuracionais o principal objetivo tem sido justamente descrever e aferir adequadamente a diferenciação espacial, coisa que tem sido alcançado com diferentes, ainda que expressivos, graus de sucesso. Na extremidade mais simples, os modelos largamente conhecidos de acessibilidade diferenciam localizações com base em distância relativa no sistema (INGRAM, 1971; HANSEN, 1959); na extremidade mais elaborada, modelos de oportunidade espacial e convergência se sugerem potencial de interação com aqueles de base econômica ao cotejar posições relativas de residências e serviços (TIMMERMANS, 2005; KRAFTA, 1997).

O Projeto aqui exposto estabelece como meta desenvolver a capacidade de representar a estrutura espacial urbana COM e A PARTIR de uma base espacial suficientemente diferenciada (desagregação espacial e representação na forma de rede), de seus conteúdos técnicos (atividades, meios de transporte), bem como das tensões estabelecidas entre eles (relações de complementaridade, competição e cooperação) e transferidas através da rede de espaços (fluxos).

3. ESTADO DA ARTE

Três vertentes convergem para a constituição do panorama teórico subjacente a este tema: geografia econômica, estudos configuracionais, e sistemas complexos. Há um largo consenso que espaço-economia pode ser visto como o resultado de um processo envolvendo dois tipos de forças: centrífugas, ou de dispersão, e centrípetas, ou de aglomeração; qualquer distribuição espacial é resultante do equilíbrio dinâmico entre essas duas forças, atuando sobre consumidores e provedores. Uma das formas mais simples de expressá-las, no lado da oferta, é assumindo que competição por preço dispersa e competição por área de mercado aglomera (TIROLE, 1988). Competição por preço, entretanto, pode ser amenizada pela diferenciação de produtos, o que permite que firmas oferecendo um mesmo produto possam ainda assim ter localizações próximas. Assim, diferenciação de produto pode ser uma força

aglomerativa; custo de transporte pode ser uma coisa ou outra. Uma articulação bem-sucedida desses fatores foi provida por Krugman (1991) em seu famoso modelo centro-periferia, onde pela primeira vez foi considerada a mobilidade do consumidor como fator constituinte da equação geral de equilíbrio. O sucesso desse modelo reside na integração de dois efeitos interativos: um envolvendo firmas e outro trabalhadores, em causalção circular, pela qual aglomeração de firmas provoca aumento de salários, que provoca concentração de trabalhadores, que conduz a uma formação espacial constituída de um centro contendo todas as firmas e uma periferia contendo todos os trabalhadores.

Cidades, particularmente regiões metropolitanas, são a forma mais extrema desse processo; não obstante, se vê formação de cidades de diferentes tamanhos, bem como concentrações de firmas não vinculadas estritamente umas às outras, como sugerido no modelo geral. Fujita e Krugman (1995) sugerem uma resolução a isso, na verdade atualizando o modelo clássico de Von Thunen (HALL, 1966), que postulava a existência prévia de uma cidade monocêntrica como centro de seu sistema. F&K mostram como esse sistema pré-determinado pode ser reformulado, permitindo a emergência de um sistema de cidades, baseado em força centrífuga (atividade e mercado de trabalho agrícola) e centrípeta (economia de escala de produção industrial e demanda por variedade de produto). Este modelo conduz à conclusão de que uma economia monocêntrica é espacialmente estável desde que o seu tamanho não ultrapasse um determinado patamar, o qual, ultrapassado, conduziria a um sistema policêntrico.

Permaneceria, entretanto, ainda uma falha na explanação da emergência de cidades de diferentes tamanhos, suprida por Henderson (1988), que descreve como uma hierarquia de cidades emerge. Em seu modelo há igualmente uma tensão entre duas forças em cada cidade. De um lado, economias de aglomeração favorecem a formação de um centro de negócios, de outro as deseconomias dos custos de transporte, concorrendo para manter um equilíbrio, no qual cada cidade mantém um tamanho bem definido, em função do tipo de firmas que contém. Como elas variam em seu mix produtivo, cada uma terá um tamanho apropriado e diferente das

outras. Essa explanação, entretanto, ainda toma as cidades isoladamente, como se fossem ilhas. Fujita, Krugman e Mori (1999) contribuem para tornar essa abordagem mais sistêmica, considerando uma maior diferenciação de firmas e produtos, bem como crescimento populacional. Esse novo modelo reproduz a formação de um sistema hierárquico mais ou menos regular de cidades, atualizando outro modelo clássico da geografia, a teoria do Lugar Central de Christaller e Lösch (BERRY, 1967). Esta atualização resulta num modelo mais complexo do que os de C&L porque combinam a hierarquia de vários centros com redes de cidades trocando produtos e serviços especializados.

O âmbito preferencial dos estudos configuracionais é o intra-urbano. Voltados à representação das características espaciais dos sistemas urbanos, têm evoluído desde descrições simples baseadas em atributos locais, como conectividade, distância ou menor caminho, controle, etc., para representações estruturais nas quais a descrição de cada unidade espacial de um sistema deixa de ter como referência apenas a vizinhança mais imediata, e sim o conjunto inteiro de unidades espaciais. Tais descrições podem ser igualmente simples ou mais complexas, conforme o número de variáveis incluídas e a forma de considerar as relações entre unidades.

O mais simples modelo de diferenciação espacial é o de acessibilidade, baseado em distância relativa. Um índice de acessibilidade simples de um ponto em relação a outro pode ser dado pela distância, pelo menor caminho, entre eles. Por extensão, um índice de acessibilidade de um ponto em relação ao conjunto de pontos de um sistema seria o somatório das distâncias desse ponto a todos os outros. Diferentes formas de considerar a distância, como medida métrica polar, ou tomada pelas rotas rodoviárias disponíveis, ou pelo tempo ou custo, ou ainda uma combinação de dois ou mais fatores, já foram consideradas (INGRAM, 1971). Semelhantemente, a descrição do espaço segundo unidades discretas já foi feita segundo diferentes critérios: centroide de zonas, linhas axiais, trechos, nós (HILLIER; HANSON, 1985, KRAFTA, 1994). Para qualquer descrição, a medida de acessibilidade resulta numa lista de unidades espaciais de um sistema, ordenadas

segundo o valor do somatório das distâncias, na qual o espaço que obtiver a menor soma será o mais acessível.

Ao modelo geral de acessibilidade se seguiu o de centralidade por interposição. Este deriva das propostas de Freeman (1977) para o estudo de redes sociais, que sugerem que tais redes desenvolvem uma hierarquia baseada em componentes que são ‘passagem’ de informação entre dois outros. Sempre que um componente (pessoa, espaço) se encontra no menor caminho entre dois outros, adquire centralidade para aquele par. Por extensão, aqueles componentes que mais vezes aparecem nos caminhos mínimos entre todos os pares possíveis de componentes, são os mais centrais do sistema. Para aplicação em situações urbanas, entretanto, esse modelo básico (inicialmente aplicado literalmente por Hillier e Hanson (1985) com o nome de “*choice*”) demandou adaptações, particularmente quanto a dois aspectos: natureza da “informação” trocada entre cada par de componentes, e natureza do caminho entre cada par. Essas adaptações constam no modelo de centralidade de Krafta (1994), que admite, como a primeira delas, a existência de uma *tensão* entre cada par de unidades espaciais, correspondendo ao tipo e magnitude da interação potencial entre atividades contidas nessas unidades espaciais. Com isso, cada par de espaços desenvolve uma relação única, caracterizada pelo poder de interação entre as atividades localizadas nesses espaços. A segunda adaptação se refere à extensão dos caminhos mínimos que unem cada par de unidades espaciais. Considerando que haveria caminhos de diferentes extensões, ou seja, compostos por quantidades variáveis de unidades espaciais interpostas entre o par considerado, o valor de conexão que cada uma dessas unidades interpostas deveria ser compatível com essa extensão. Com esse objetivo, o modelo de centralidade ponderado promove uma distribuição da tensão gerada em cada par em porções equivalentes entre todas as unidades espaciais interpostas. Com isso o modelo adquire novas variáveis (atividades e interação entre elas) e novas características (tensão potencial e respeito à extensão dos caminhos mínimos). Como se pode inferir, este novo modelo já não representa apenas um vetor de aglomeração; a centralidade por ele

capturada e descrita contém ambos os vetores de aglomeração e de dispersão. A aglomeração está presente na forma de atratividade que os lugares mais centrais desenvolvem nos seus sistemas, já a dispersão está subjacente na acumulação de atividades, tensões e fluxos potencialmente geradores de congestionamento, custos de deslocamento e competição por localização. O problema aqui é que essas forças não estão discriminadas no modelo, que captura apenas uma síntese de ambas.

Alternativas para desagregar o modelo de centralidade ponderado envolveram o uso de grafos direcionados, basicamente. Um grafo direcionado é requerido para a computação de pares ordenados de espaço, como no caso em que há conveniência em distinguir origens e destinos. Em Krafta (1997) há registro de alguns modelos desagregados desse tipo. *Oportunidade espacial* é uma medida de privilégio locacional de residências em relação a serviços. Com isso, pares ordenados residência-serviço são considerados, e apenas esses, para um cálculo de centralidade parcial, cujos resultados hierarquizam todas as unidades espaciais que contém residências segundo sua posição relativa a um sistema de serviços. *Convergência* é uma medida de privilégio locacional de serviços em relação à distribuição espacial de consumidores e de outros pontos de oferta dos mesmos serviços considerados. Da mesma forma, pares ordenados serviço-residência são tomados para um cálculo que aponta a distribuição proporcional dos consumidores entre os diversos pontos de oferta de um ou mais serviços, tomando como critério básico a distância e posição relativas. Polarização é uma medida parcial de centralidade em que apenas algumas atividades, e conseqüentemente apenas algumas interações espaciais potenciais são consideradas. Seus resultados permitem inferir os graus de deformação do sistema espacial causados por determinadas atividades.

Convergência e Oportunidade Espacial são as medidas configuracionais mais próximas da caracterização de forças centrípetas e centrífugas do sistema urbano, mas não parecem ser ainda satisfatórias; enquanto Convergência poderia ser genericamente considerada uma expressão de uma força de aglomeração, Oportunidade Espacial está longe de representar com um mínimo de fidelidade o vetor centrífugo.

É sabido que o progresso havido na área de sistemas complexos tem produzido um 'spillover' considerável em outras áreas, inclusive a dos estudos urbanos. Na verdade, o desenvolvimento tanto da Nova Geografia Econômica quanto dos Estudos Configuracionais, aqui reportados, tiveram relevante contribuição da ciência da complexidade. A noção, essencial aos sistemas complexos, de algo composto de muitíssimos componentes e regras de interação locais, isto é, entre agentes simétricos, que tem, assim, perfeita previsibilidade na escala micro, mas que, devido à simultaneidade de um número enorme de interações locais, não tem previsibilidade no plano macro, quando aplicada aos sistemas urbanos é tão revolucionária quanto, paradoxalmente, próxima ao senso comum.

Várias vertentes da chamada auto-organização acabam possibilitando a derivação de pesquisa urbana. Já foram demonstradas a aplicabilidade da teoria da dissipação de Prigogine à ciência regional (ALLEN, 1997), da teoria da sinérgica de Haken aos estudos urbanos (PORTUGALI, 2000), da geometria fractal à análise espacial (BATTY & LONGLEY, 1994), entre outros. A vertente que mais interessa a este trabalho é a desenvolvida por Per Bak e Kurt Wiesenfeld (1988), denominada genericamente de criticalidade auto-organizada. Em essência, descreve uma classe de fenômenos frequentemente encontrados em física, biologia e em ciências sociais, caracterizados por apresentar uma dinâmica que naturalmente evolui para um ponto crítico; essa seria uma característica de sistemas auto-organizados, sendo o ponto crítico um atrator, isto é, o estado mais provável. Com isso, esses sistemas tendem naturalmente a um estado crítico e, uma vez lá, tendem a permanecer nas suas proximidades. Estado crítico, por sua vez, significa um ponto de transição de fase ou estado, propício a mudanças qualitativas.

Há inúmeros aspectos da dinâmica urbana que sugerem alguma pertinência a essa classe de fenômenos. Batty e Xie (1998) sugere que o processo de crescimento urbano, ou seja, a forma de preencher o território, originalmente rural, com cidade assemelha-se a um processo de criticalidade auto-organizada; Krafta, Netto e Lima (2010) sugerem que o processo de reposição de estoques edificados no interior da cidade poderia ser outro caso de criticalidade

auto-organizada.

A noção essencial de criticalidade auto-organizada parece estar muito próxima de um sistema urbano proposto como um processo de auto-resolução constante, baseado na tensão entre duas forças opostas, de aglomeração e de dispersão. Nessa situação esses sistemas resultam muito suscetíveis a mudanças discretas no equilíbrio entre essas duas forças, que podem causar modificações qualitativas no estado macro do sistema, mesmo a partir de alterações microscópicas em um dos vetores.

4. TEORIA

Como se depreende das referências apresentadas, há uma sólida base explanativa para o fenômeno da diferenciação espacial, com aplicação para o sistema de cidades, baseada em geografia econômica, mas que não se aplica literalmente às situações intraurbanas. Por outro lado, há algum desenvolvimento analítico baseado em espaço que, não obstante, não parece ter alcance para tratar da diferenciação espacial no âmbito da localização de atividades, particularmente das atividades de serviço.

O que se pretende fazer é replicar, na escala intra-urbana, uma descrição sistêmica semelhante à provida pela Geografia Econômica para a escala metropolitana, adicionando a particularização espacial requerida para esse âmbito de consideração, operando, assim, a partir de uma base modelística iminentemente configuracional. Para isso vai se buscar, a partir da base analítica disponível (modelos de centralidade ponderada e suas particularizações) produzir descrições acuradas dos vetores de aglomeração e de dispersão internos ao sistema urbano, bem como as situações clássicas de verificação do equilíbrio entre eles.

Para o vetor centrípeto, a utilização direta da medida de convergência, que, como se viu, descreve os efeitos de aglomeração por área de mercado, parece satisfatória. Para vetores centrífugos, a disponibilidade instrumental é sensivelmente menor. Há evidências que a expansão urbana decorre da mobilidade dos trabalhadores (KRUGMAN, 1991), da disponibilidade de meios de transporte (Echenique) e do mercado imobiliário (BARRA, 1989). Juntos, impulsionariam a expansão da cidade, mas ao mesmo tempo tensionariam a

relação entre domicílio e serviço, na direção de um ponto crítico. Esse vetor centrífugo poderia ser representado por uma medida de distância média ponderada. Este indicador pode ser obtido pelo cômputo da média das distâncias de cada localização residencial ao ponto de serviço mais próximo, ponderada pela densidade na localização residencial. Cada serviço, assim como cada cidade, teria um limiar, dentro do qual os serviços estariam cobrindo o universo da demanda e fora do qual haveria uma força de dispersão em ação, encorajando emergência de novas unidades de serviço em posições que façam a distância média do sistema retornar a níveis iguais ou inferiores ao patamar do serviço.

A tensão reguladora da localização dos serviços resultaria, assim, do confronto entre uma força de aglomeração, resultante da polarização causada pelos serviços e pelas vantagens da proximidade entre serviços, e uma força de dispersão, resultante da expansão da base residencial urbana. Para distâncias médias entre residências e serviços ainda baixas, o vetor de aglomeração seria francamente prevalente, mantendo a situação monocentral; para distâncias médias mais altas, uma zona de transição causada pelo equilíbrio entre ambos os vetores permitiria a tanto a eventual extensão da área central de serviços (normalmente uma expansão dendrítica, ao longo dos principais canais de circulação a partir do centro) quanto a emergência de núcleos de serviço separados espacialmente do centro principal.

Uma característica importante dessa instância de transição é justamente a implícita noção de *ponto crítico*. Ponto crítico seria o limite de elasticidade da relação entre ponto de oferta de serviço e localização dos consumidores, o ponto em que o somatório dos vetores opostos passa a apontar na direção da dispersão. Esse ponto crítico seria um atrator do sistema, ou seja, um estado para o qual o sistema tenderia e no entorno do qual permaneceria. É certo que cada tipo de serviço teria o seu próprio ponto crítico, definido em termos da maior distância média suportada por um local de oferta, assim como é esperado que a combinação de serviços complementares, ou pelo menos associados, altere os pontos críticos de cada serviço isolado. Com isso, ter-se-ia um sistema dinâmico que se ajusta constantemente, tende a manter as

distâncias médias perto do limite e, em cada ajuste, interfere na relação entre as forças de aglomeração e dispersão.

5. OBJETIVOS E HIPÓTESES DE TRABALHO

Objetiva-se revelar relações técnico-espaciais entre a distribuição da população e a dos serviços urbanos, a partir do estudo da sua configuração. Por relação técnico-espacial se entende o potencial de interação através do espaço entre serviços específicos e consumidores específicos. Cada serviço pode ser definido tecnicamente por um tipo de produto, um tipo de consumidor e uma área de cobertura tomada a partir de cada ponto de oferta. A relação espacial entre serviço e consumidores pode ser aferida pela distância entre cada localização de cada consumidor (residência ou local de trabalho) e cada localização de cada ponto de oferta de serviço.

As hipóteses básicas de trabalho são: a) a distribuição espacial dos consumidores urbanos se altera constantemente, fruto do crescimento demográfico, do desenvolvimento da indústria da construção, do mercado imobiliário, da evolução da renda e dos estilos de vida urbana; b) a localização de serviços urbanos é tensionada por duas forças antagônicas, uma de natureza centrípeta, representada pelas vantagens de aglomeração, e outra de natureza centrífuga, representada pelas vantagens de área de mercado; c) os serviços permanecem aglomerados numa configuração urbana monocentral enquanto houver a prevalência da força centrípeta, mas ingressam num estágio de instabilidade quando ambas tenderem a se anular mutuamente, o limite dessa transição seria um ponto crítico, atrator do sistema; d) nas proximidades do ponto crítico, pequenas alterações na configuração espacial do subsistema “consumidores” pode provocar transformações qualitativamente significantes no subsistema “serviços”; e) essas transformações, inicialmente novos pontos isolados de oferta, tendem a desenvolver novas aglomerações de serviço.

6. CORROBORAÇÃO EMPÍRICA

O teste empírico das hipóteses foi realizado utilizando extensiva base de dados e intensivo

tratamento analítico através de técnicas de geoprocessamento. Foi utilizada a cidade de Santa Maria RS, da qual se valeu de dados populacionais dos censos de 1990, 2000 e 2010, bem como de dados de serviços urbanos do cadastro específico da Prefeitura.

Para a definição dos serviços urbanos utilizou-se a Classificação das Atividades Econômicas Urbanas contidas na Pesquisa Anual do Comércio – PAC IBGE (2009) e Pesquisa Anual do Serviço – PAS IBGE (2009). Estas classificações são reconhecidas como o setor terciário que englobam as atividades de comércios e serviços urbanos no Brasil. No trabalho são denominadas apenas por Serviços Urbanos e estão classificadas de acordo com a abrangência – local ou regional - frequência e opções de usos pelo consumidor, localização no espaço urbano, porte da atividade, serviços concorrenciais ou complementares e a interação espacial entre os consumidores. Assim, os serviços urbanos foram agrupados como Serviços Urbanos Locais, Excepcionais, Saúde, Tecnológicos e Automotivos¹.

Serviços Urbanos Locais: São aquelas atividades de comércios e serviços mais próximas das famílias e de uso mais intensivo e diário. No comércio destacam-se: armazém, minimercado, supermercado, padaria, confeitaria, farmácia, livraria, fruteira, venda de combustível, gás etc. Os serviços consideram-se: alojamento, alimentação, atividades culturais, recreativas e esportivas, serviços pessoais (cabeleireiro, instituto de beleza), vídeo locadora, bancos, ensino continuado, entre outros.

Serviços Urbanos Excepcionais: São aquelas atividades de uso menos frequente pelas famílias e que podem estar localizadas numa distância relativamente maior aos locais de moradia. Estão constituídas por vendas varejistas de artigos pessoais, vestuário, móveis e utensílios domésticos, decoração, óticas e presentes, e, nos serviços como agências de turismo, atendimento veterinário (pets), ensino de nível técnico e superior, etc.

Serviços Urbanos da Saúde: Médicos, dentistas, clínicas em geral, laboratórios de análises clínicas, hospitais e outros serviços relacionados à saúde humana.

¹ Os dados de serviços são apresentados conforme o seu registro na Prefeitura Municipal de Santa Maria, e podem não corresponder à denominação do IBGE.

Serviços Urbanos de Tecnologias: São compostos pela atividade de manutenção de equipamentos de informática, processamento de dados, comunicação, publicidade, internet, programadores, contabilistas, engenheiros, arquitetos, serviços especializados na área tecnológica de arquitetura, agronomia e engenharia, escritórios de advocacia, assessoria jurídica e administrativa, etc.

Serviços Urbanos Automotivos: Empresas transportadoras, comércio de veículos, peças e acessórios automotivos, comércio de materiais de construção, vendas por atacado, oficinas mecânicas, etc.

6.1 Base espacial

Para cada classificação de serviços urbanos, conforme descritas anteriormente, elaborou-se uma base espacial (mapa) com a localização dos pontos de serviços para cada ano analisado. Com a utilização de uma ferramenta de Geocodificação estes pontos foram espacializados e georeferenciados sobre o mapa do sistema viário da cidade. Desta maneira, foram produzidos mapas para os Serviços Locais, Excepcionais, Saúde, Tecnologias, Automotivos e um englobando a espacialização de todos estes serviços. Nas figuras 1 a 4 mostra-se a espacialização e a simulação dos serviços locais e serviços automotivos, respectivamente.

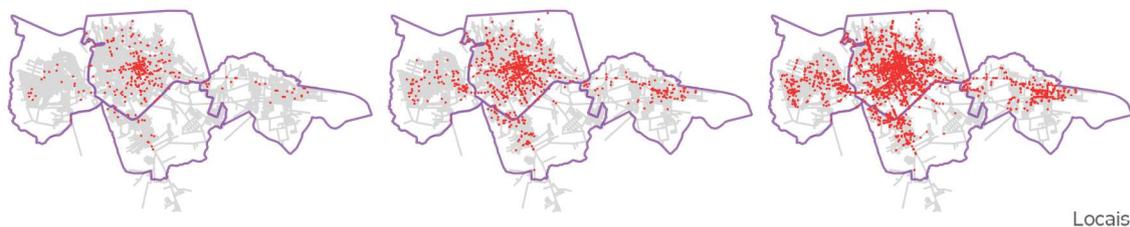


Fig. 1 - Espacialização dos pontos dos serviços urbanos locais entre os anos de 1990, 2000 e 2010.

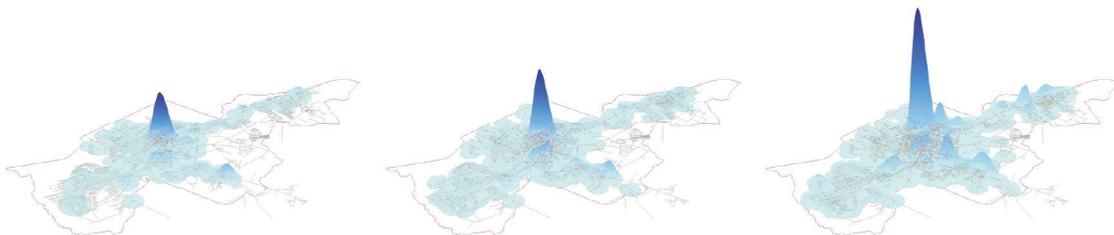


Fig. 2 - Simulação dos crescimentos dos serviços urbanos locais entre os anos de 1990, 2000 e 2010.

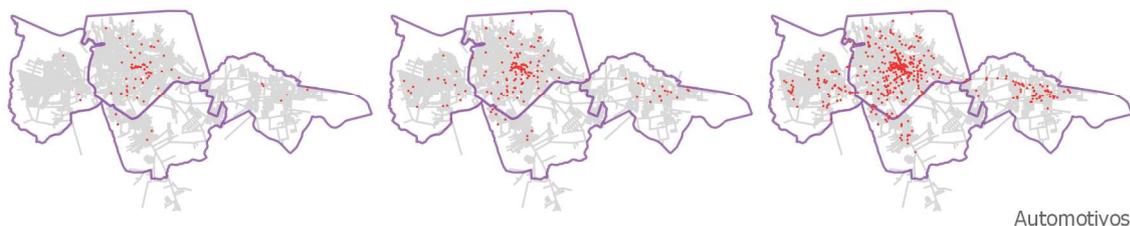


Fig. 3 - Espacialização dos pontos dos serviços urbanos automotivos entre os anos de 1990, 2000 e 2010.

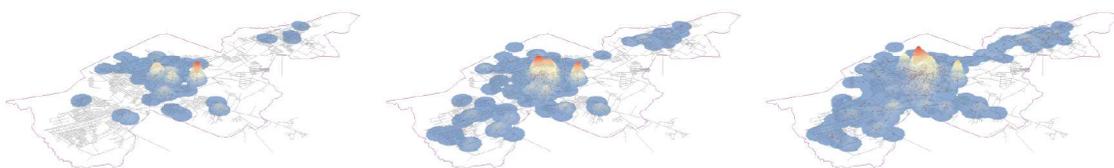


Fig. 4 - Simulação dos crescimentos dos serviços urbanos automotivos entre os anos de 1990, 2000 e 2010.

Os dados reais apresentam-se complexos e heterogêneos e para simplificar o uso destas variáveis, que representam os pontos de localização dos serviços urbanos, procede-se a uma análise de mapeamento de *Clusters* que proporciona um caminho seguro para esta escolha.

6.2 Mapeamento por Clusters

O mapeamento por *clusters* é um processo de aglomeração por afinidades entre as variáveis que facilita a identificação de pontos específicos dos serviços urbanos. De acordo com Hair et al. (2009 apud FIGUEIREDO FILHO et al., 2014) a análise de cluster reúne pessoas e objetos em grupos de tal forma que os objetos no mesmo cluster são mais parecidos entre si do que para outros *clusters*. Este mapeamento permite analisar o comportamento do sistema como um todo, salientando os pequenos subsistemas que emergem no tempo e suas semelhanças ou diferenças nos padrões morfológicos para cada tipologia de serviço urbano. A formação de *clusters* de serviços no espaço urbano e no tempo proporciona reconhecer os elementos geradores de crescimentos que provocam a expansão do sistema urbano para a periferia ou a concentração, cada vez maior, do centro dominante - o centro histórico da cidade.

Com base nos dados espaciais, procede-se a análise preliminar da evolução e a formação dos *clusters*, para as diferentes tipologias classificadas anteriormente abrangendo os anos de 1990, 2000 e 2010.

Neste artigo são apresentadas somente as avaliações dos *clusters* dos serviços locais e automotivos, onde a evolução no tempo evidencia distintas características nas suas configurações. No mapeamento cada *cluster* é constituído pela sua poligonal que contém os pontos de serviços a ele pertencentes, e ainda, seu centróide que concentra as informações sobre o cluster analisado.

Através das figuras 5 e 6 do mapeamento por *clusters* é possível visualizar a formação, abrangência e as tendências de crescimentos de cada atividade.

Por sua vez, o mapeamento de *clusters* dos serviços automotivos, figuras 7 e 8, mostra que inicialmente, no ano de 1990, a formação de *clusters* é débil, com poucos pontos de

serviços o que representa pequena interação nas localizações destes serviços em relação aos moradores. São *clusters* com baixa densidade de pontos de serviços e com apenas alguns pontos de destaque. Percebe-se assim, que, contrariamente a formação dos *clusters* de serviços locais, no ano de 1990, os *clusters* automotivos ocupavam espaços mais centrais do sistema e com clusterização mais rarefeita.

Na comparação entre os *clusters* locais e automotivos identifica-se que a formação dos *clusters* de serviços locais tem uma composição mais densa de pontos de serviços desde o início do mapeamento. Observa-se um crescimento intenso de pontos no sentido do centro para a periferia, acompanhando o sistema viário principal da cidade. Esta evolução configuracional do serviço local ocorre em razão da busca por maior proximidade aos consumidores e ao crescimento populacional.

Esta técnica de mapeamento por *clusters* oferece informações consistentes a respeito das localizações e suas relações com os espaços urbanos e as populações residentes em cada setor. Oportuniza avaliar cada um destes serviços com sua própria dinâmica locacional, buscando diferentes localizações relacionadas com as características de externalidades econômicas.

6.3 A medida de Distância Relativa

O modelo utilizado baseia-se na medida de distância relativa ponderada entre pontos de oferta de serviços e localizações residenciais. Isto envolve identificar e medir a distância entre cada localização residencial e o ponto mais próximo de oferta de serviço. A ponderação é feita pela quantidade de usuários do serviço verificada em cada localização residencial. O indicador de distância relativa é a média das distâncias de todas as localizações residenciais à localização do serviço urbano. Considerando que as cidades tendem a crescer através da expansão da área urbana, motivada tanto pela geração de novas áreas residenciais, quanto pela densificação populacional das áreas já existentes, dois pressupostos devem ocorrer nas avaliações. Para o crescimento através da expansão de novas áreas a expectativa é que esta distância aumente com o passar do tempo, até que atinja o ponto crítico. Por sua vez o crescimento pelo aumento da densificação a

expectativa é a diminuição das distâncias médias. A reação do sistema urbano a geração de novas áreas residências e a densificação deverá ser a extensão da rede de pontos de oferta de serviços

na direção da expansão, restabelecendo uma distância média aquém do limiar. Esse processo seguiria com o sistema posicionando-se sempre nas proximidades do ponto crítico.

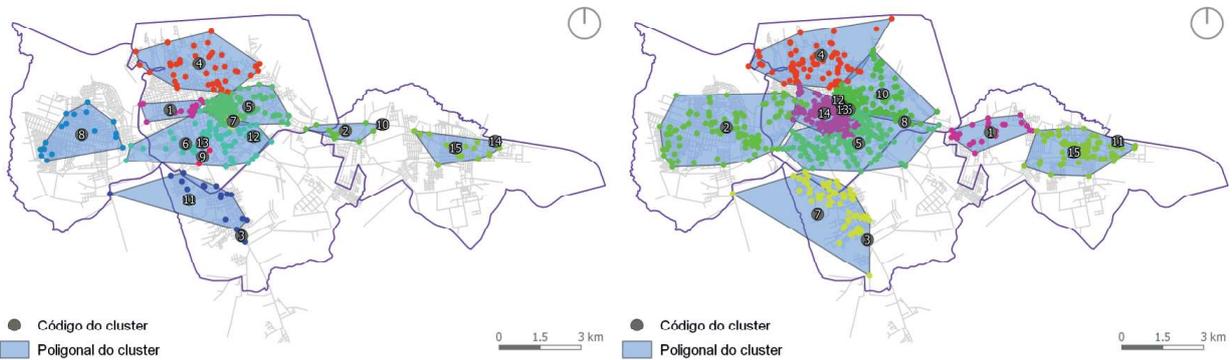


Fig. 5 - Mapa com 15 clusters e suas poligonais gerados nos anos de 1990 e 2000 para os serviços locais.

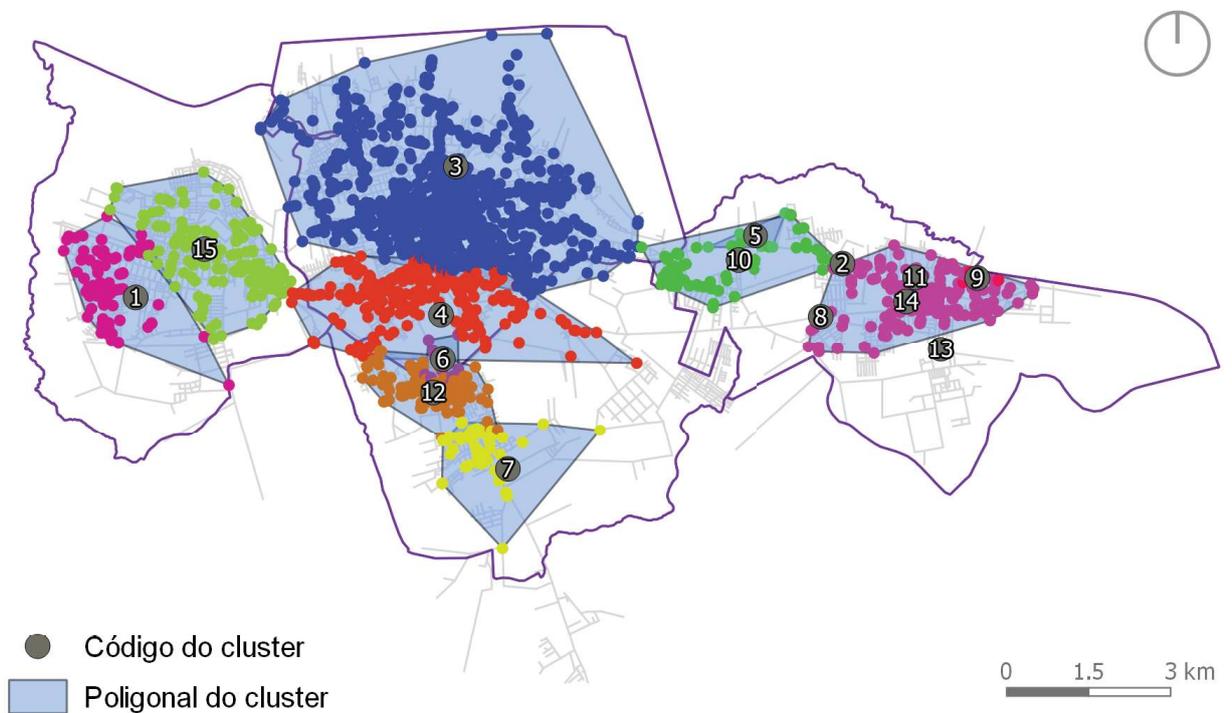


Fig. 6 - Mapa com 15 clusters e suas poligonais gerados no ano de 2010 para os serviços locais.

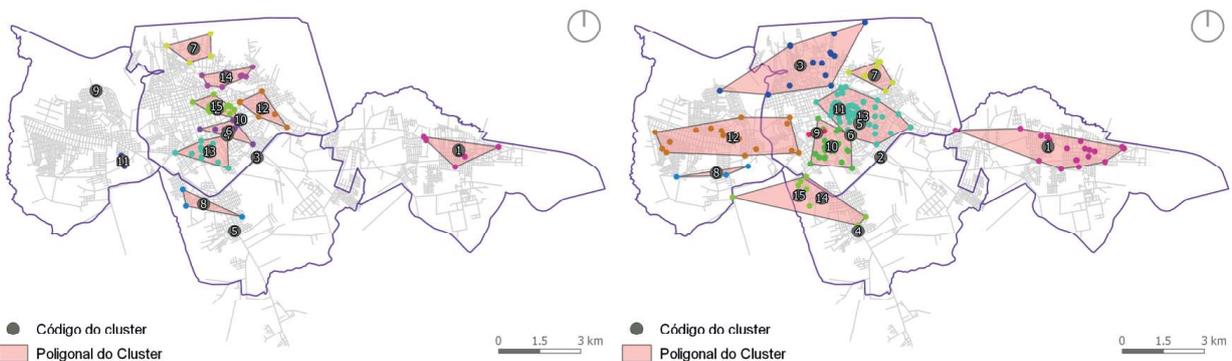


Fig. 7 - Mapa com 15 clusters e suas poligonais gerados nos anos de 1990 e 2000 para os serviços automotivos.

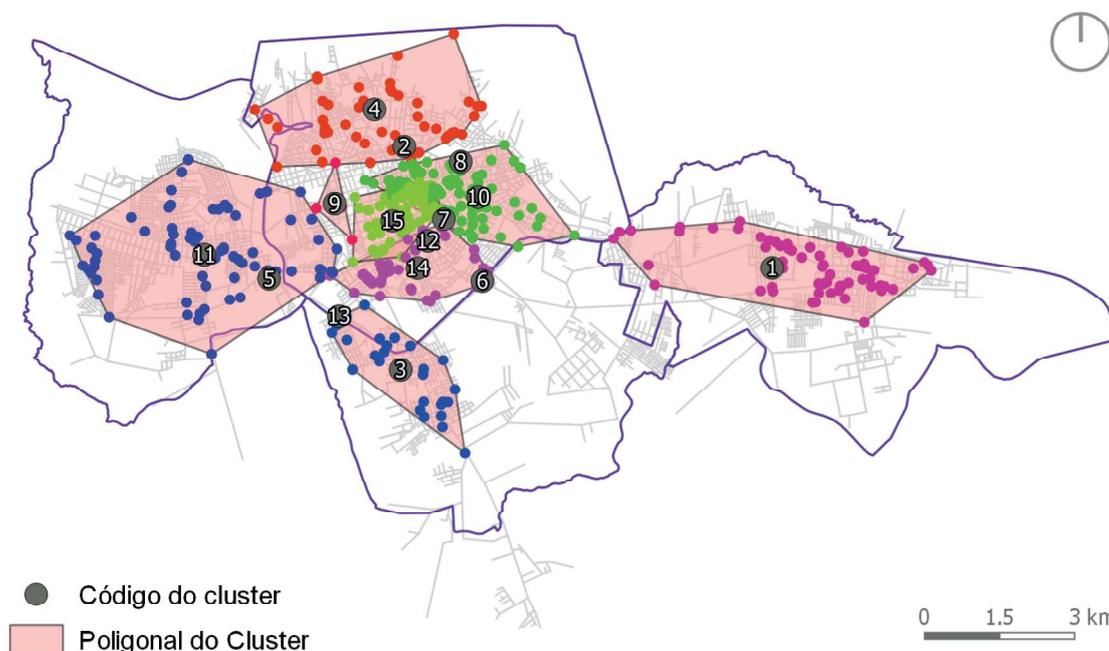


Fig. 8 - Mapa com 15 *clusters* e suas poligonais gerados no ano de 2010 para os serviços automotivos.

A necessidade de verificação desta medida exige um período temporal relativamente longo para uma observação dinâmica do processo. Como alternativa usou-se três cortes para análise (1990, 2000, e 2010), abrangendo um período de 20 anos, com a qual se verificou mediante dois procedimentos: a) mapeando a expansão das áreas residenciais e da rede de oferta de serviços urbanos e b) medindo para os três momentos, as distâncias relativas médias. A manutenção da distância média relativa em torno de valores mais ou menos estáveis demonstra a tese de que haveria efetivamente um limiar crítico que, uma vez atingido, provocaria a reação do sistema, a extensão da rede de serviços e a recuperação dos limiares de distância anteriores.

6.4 Procedimentos Analíticos

Com a definição de *clusters* para cada tipologia de serviços urbanos em cada ano é escolhido o centróide do *cluster* como ponto de serviço urbano. A seguir são escolhidos os centróides de cada área censitária pertencente ao mesmo *cluster* onde são adicionados os valores de população.

Desta maneira, os centróides de cada *cluster* são considerados como os pontos com atributos de serviços (destino) e os centróides das áreas censitárias são os pontos representando a localização de consumidores e pertencentes ao mesmo *cluster* (origem).

Este processo se altera ano a ano à

medida que os *clusters* também variam em seus crescimentos ou particionamentos, seguindo o esquema de funcionamento do algoritmo representado na Figura 9.

No passo seguinte são gerados os *hubs* - concentradores - em que todos os pontos representando os centróides das áreas de população são conduzidos para o centro do *cluster*. Estas ligações representam a distância euclidiana entre os pontos de população (origem) e do serviço (destino) de uma maneira simplificada, (Figura 10).

O valor de população de cada ponto $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$, é multiplicado pela distância com o ponto de serviço S_i e ponderado pela população total do subsistema aos quais pertencem o serviço S_i no tempo T_i .

Obs.: Se no ponto de serviço S_1 existir população esta também deve ser considerada no somatório do subsistema.

O cálculo obedece a fórmula matemática abaixo:

$$D_{média\ pond.} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i * p_i}{P} \quad (1)$$

onde: d_i = distância do ponto de referência de serviço S_i até o ponto de uma determinada área com população p_i

p_i = população de uma determinada área;

P = população total (de todas as áreas pertencentes ao ponto de serviço considerado incluindo o mesmo).

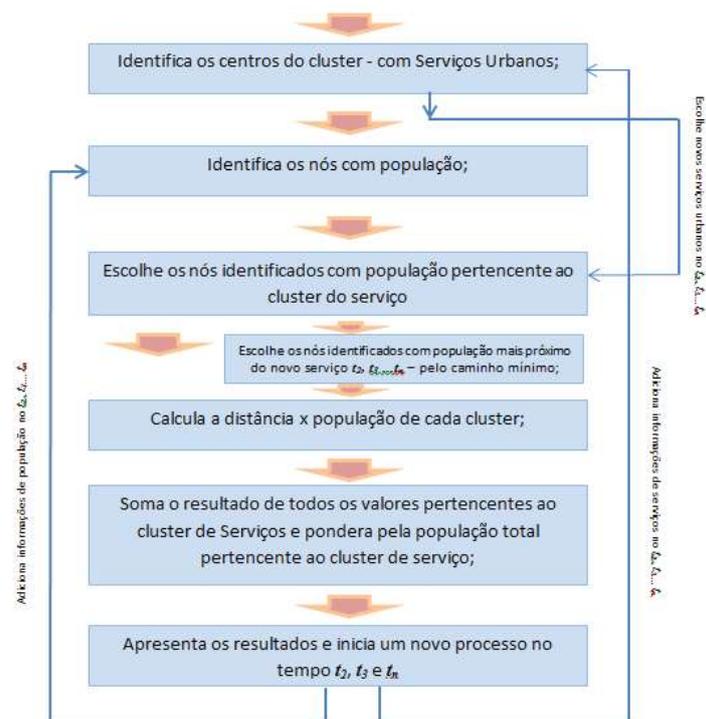
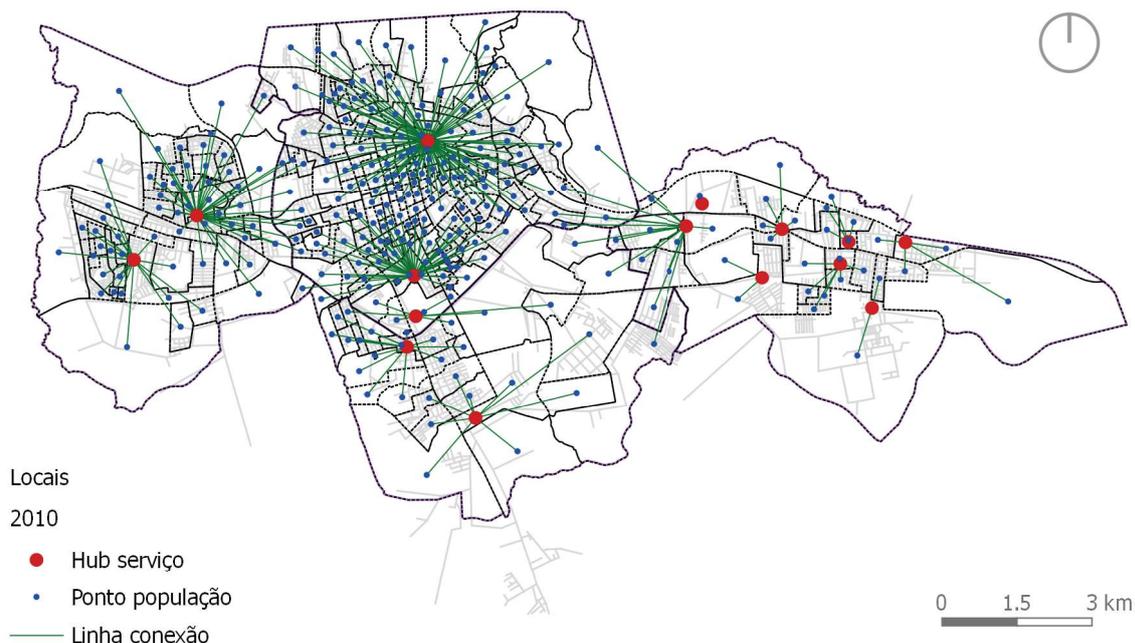


Fig. 9 - Algoritmo do modelo.

Fig. 10 - Formação dos *hubs* (concentradores) para a medição das distâncias relativas entre oferta e demanda de serviços urbanos locais para o ano de 2010.

7. RESULTADOS

Da aplicação do Modelo de Distância Média Ponderada resultaram valores que configuraram quatro diferentes comportamentos. Aqueles cujas distâncias médias ponderadas apresentaram alternância de valores crescentes e decrescentes e os que apresentaram valores sempre crescentes ou decrescentes durante o

mesmo período analisado.

Considerando estes resultados para a avaliação dos serviços locais observa-se que de um total de 313 setores censitários existentes no espaço urbano, 99 apresentam comportamento ascendente e, posteriormente, descendente. Estes setores representados na Figura 11 pela cor marrom concentram-se no centro urbano da

cidade e adjacências. Por sua vez, os 75 setores que somente decresceram, representados na cor azul, mantém uma relação de proximidade com os setores descritos anteriormente e em posições relativas favoráveis aos serviços locais.

Os resultados mostram uma variedade de situações e não permitem uma corroboração inequívoca das hipóteses. Não obstante, a identificação de uma dinâmica do indicador de distância média, ora decrescendo, ora crescendo, dentro e fora do intervalo de tempo observado, permite supor que haja realmente uma relação instável entre localizações de residentes e serviços, a existência de alguns limiares, e conseqüentemente uma 'dança' em torno desses pontos críticos. Os principais 'passos' dessa dança são:

a) aumento contínuo da distância média ponderada: situação típica prevista pela teoria; com efeito esperava-se verificar esse processo todo o tempo para todas as atividades, efeito do processo de expansão urbana e hegemonia do vetor centrífugo. Este movimento deveria convergir para um limiar e, a certo ponto, ser interrompido;

b) diminuição da distância média ponderada: igualmente prevista pela teoria, deveria, entretanto, ocorrer de forma abrupta (mais abrupta

do que o registrado pela análise), identifica uma mudança qualitativa (modificação da estrutura de serviços na imediação do ponto crítico). A aparente extensão temporal capturada pela análise pode se dever à modulação da variável tempo (10anos) que impede a visibilidade fina do processo de acomodação do sistema. Também pode se dever à agregação dos pontos de oferta de serviços em hubs;

c) alternância entre movimentos ascendentes e descendentes: caracterizam processos de acomodação da estrutura espacial urbana e podem estar associados a a) expansão da base territorial residencial (aumento da distância média), b) ajuste da base territorial de serviços (diminuição da distância média), e c) aumento da densidade de zonas habitacionais já existentes (diminuição da distância média).

Como se vê, o exercício de verificação empírica inicial sugere fortemente uma dinâmica compatível com as hipóteses de trabalho, mas os mecanismos analíticos disponíveis e utilizados não foram suficientemente precisos, tanto no que diz respeito à base espacial, quanto às janelas temporais, para permitir identificar padrões relativos a limiares e principalmente, a 'avalanches' de acomodação do sistema.

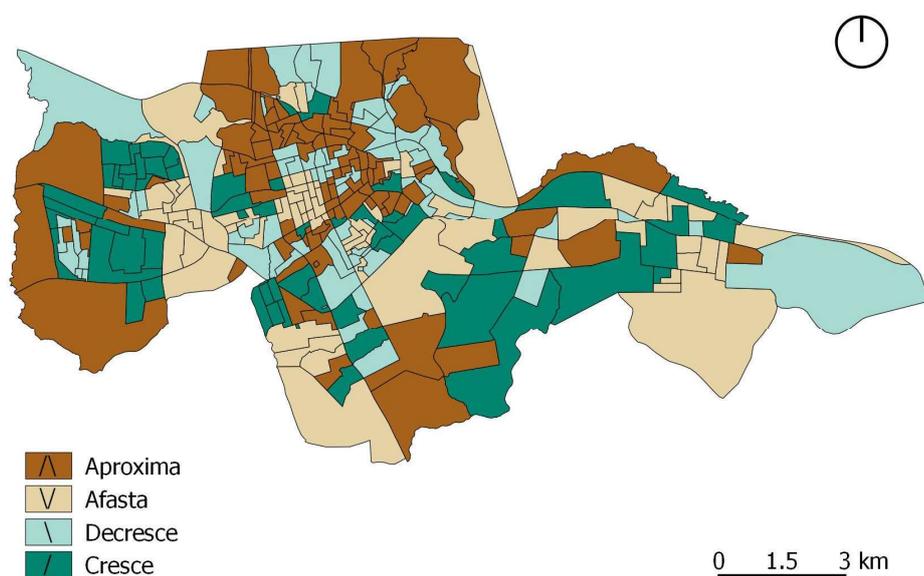


Fig. 11 - Comportamento das distâncias médias em cada setor censitário para os serviços locais.

8. UM MODELO

O trabalho empírico ofereceu vários pontos de apoio à elaboração de um modelo voltado a capturar a dinâmica espacial examinada:

a) Desagregação dos dados, principalmente dos dados referentes à oferta de serviços, é necessária para obter um quadro suficientemente discernível;

- b) Tanto população quanto serviços deveriam ser discriminados por tipos;
- c) Concentração de diferentes tipos de serviços, formando polos, introduz no sistema forças de atração mais poderosas que aquelas decorrentes de variação de escala de serviços isolados;
- d) Escala temporal é determinante para a captura de limiares e avalanches. Tendo isso em conta, o modelo respectivo deveria ter a seguinte constituição.

8.1 Descrição do sistema

Seriam três tipos de variáveis aceitas no sistema: a) base espacial, b) distribuição espacial das residências, e c) distribuição dos serviços. A base espacial seria convenientemente descrita mediante unidades discretas a serem determinadas, escolhidas dentre as descrições usuais disponíveis (areal, axial, nodal), com relações locais definidas topológica (adjacências) e geometricamente (distâncias). A distribuição das residências seria associada às unidades espaciais, e implicaria em desagregação segundo densidade (quantidade de unidades residenciais por unidade de espaço) e segmentação socioeconômica (classes de renda). A distribuição dos serviços obedeceria ao critério espacial já referido, desagregado por tipo, porte e possivelmente complexidade. Os tipos envolveriam as diferentes instalações comerciais e de serviço, o porte poderia ser definido por área, quantidade de empregados, atratividade, conforme dados disponíveis. A descrição resultaria num grafo carregado e direcionado, onde cada nó representa uma unidade espacial, carregada com quantidades de residentes, empregos e serviços, e cada aresta representa uma adjacência, também carregada com distância geométrica.

8.2 Medidas de Estado

A descrição das forças centrípeta e centrífuga respectivamente seguirão as alternativas delineadas a seguir. Para a primeira, uma medida de a *convergência* seria adotada. O resultado de uma medição de convergência mostra a distribuição potencial relativa de consumidores entre os diversos pontos de oferta disponíveis no sistema, em função do porte e posição relativa desses pontos, assim como da distribuição espacial dos consumidores. Assim, uma medida de convergência é sensível à magnitude dos serviços existentes em cada ponto, de forma que a convergência de um ponto aumenta com a adição de uma nova unidade de serviço. Para a descrição da força centrífuga, a medida já sugerida é a da distância média ponderada. Sua constituição envolve a) a definição de distância

entre dois pontos demanda-oferta, ou seja, um par de pontos orientado extraído do grafo, b) a definição de um raio máximo, ou limiar a partir da localização de origem da demanda, dentro do qual locais de oferta de um determinado serviço serão pesquisados, c) a ponderação da origem (quantidade de consumidores aí localizados) e no destino (porte do ponto de oferta) e a extração da distância média. Com isso, cada ponto de demanda teria uma medida de distância média para cada tipo de serviço descrito no sistema. O sistema teria tantos indicadores de distância média quantos forem os serviços considerados.

Finalmente, a descrição da tensão final atuando em cada posição de oferta de serviço poderia ser obtida pela soma algébrica dos vetores de aglomeração e de dispersão. Isso poderá ser feito após as convenientes normalizações das diversas medidas individuais (Figura 12).

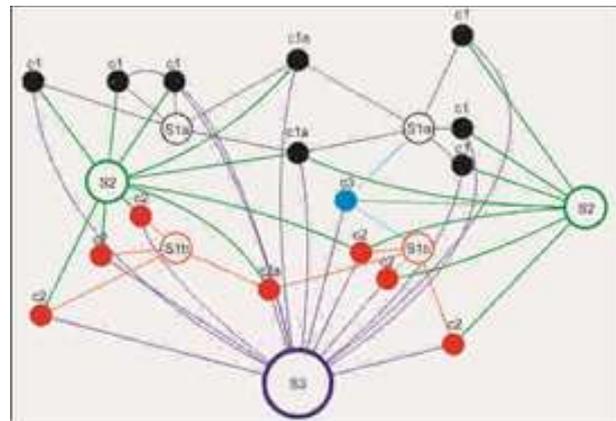


Fig. 12 - Ilustração do procedimento descritivo (grafo ponderado) e do método de cálculo de distância média ponderada. C1 e c2 são tipos de consumidores polarizados por um ponto de provisão de serviço local S1 (cores representam padrões socioeconômicos diferentes, cada nó, seja consumidor ou serviço, pode conter diferentes quantidades); c1a e c2a são consumidores melhor situados, com escolha de mais de um ponto de provisão de serviço tipo S1. C3 são consumidores cujo padrão socioeconômico permite usar serviços tipo 'a' e 'b'. O mesmo sistema de polarização ocorre com serviços tipo S2 e S3, de maiores abrangências. Cada linha ligando uma localização de consumidores com outra de serviços tem atributos de distância e eventualmente meio de transporte. O processamento de um grafo desse tipo resulta na aferição de distância média ponderada (pela quantidade de consumidores e porte dos serviços) para cada localização, e para o sistema.

8.3 Indicadores de tensão

Duas forças de sentidos opostos atuando simultaneamente em um sistema espacial gera uma tensão que pode ser aferida por indicadores específicos, mensuráveis a partir da fixação de um limiar (máxima distância média admitida) para cada serviço: a) indicador de *convergência potencial*, que é a medida de convergência que cada célula residencial teria caso viesse a sediar um serviço, e b) a *distância média potencial*, que é a nova distância média do sistema caso um serviço fosse oferecido numa determinada célula. Com isso, atingido o limiar, o sistema tenderia a criar um novo serviço cuja localização seria determinada pela relação entre esses dois indicadores; essa relação pode ser expressa por um indicador específico, aqui denominado de *resultante*.

9. COMPORTAMENTO DOS INDICADORES

Inicialmente é considerado um sistema urbano linear contendo um serviço, localizado no centro, e células residenciais contendo uma unidade de habitante cada. É arbitrado o limiar para o serviço (5) e feito o sistema crescer.

Atingido o ponto crítico, a estrutura de serviços muda, fazendo aparecer uma nova unidade cuja localização será definida pela resultante das forças de centralização e descentralização. Para determinar esse quadro vetorial, os indicadores de tensão são aferidos. *Convergência potencial* é calculada simulando a existência de uma nova unidade do serviço considerado em cada uma das células do sistema, consecutivamente. *Distância média potencial* é calculada do mesmo modo. A *resultante* é calculada como a diferença dos parâmetros de convergência potencial e distância média potencial normalizados. Na tabela abaixo estão os dados dessa simulação; coluna 1 registra as células adicionadas ao sistema, coluna 2 mostra os valores de convergência a cada momento (sempre será 100, visto que o sistema conta com apenas um ponto de oferta de serviço), coluna 3 mostra a evolução da distância média à medida que o sistema cresce, coluna 4 contém os valores do indicador de convergência potencial para o sistema com 10 células, coluna 5 contém os valores de minimização da distância média potencial para o sistema com 10 células, coluna 6 contém os valores de DMP normalizados e coluna 7 contém os valores da resultante.

Tabela 1: Resultados da simulação de um sistema que cresce linearmente até 10 células, quando o limiar de distância fixado (5) é alcançado. Marcado em azul o limiar do serviço considerado e em vermelho o valor máximo atingido pelo indicador Resultante

| SISTEMA | C em 1 | DM | CP | DMP | MDMP Normaliz. | RESULT. |
|---------|--------|-----|----|------|----------------|---------|
| 1 | - | - | - | - | | |
| 2 | 100 | 1 | 36 | 4,5 | 10 | 26 |
| 3 | 100 | 1,5 | 34 | 3,63 | 27,5 | 6,5 |
| 4 | 100 | 2 | 33 | 2,88 | 42,5 | -9,5 |
| 5 | 100 | 2,5 | 32 | 2,38 | 52,5 | -20,5 |
| 6 | 100 | 3 | 30 | 2 | 60 | -30 |
| 7 | 100 | 3,5 | 29 | 1,88 | 62,5 | -33,5 |
| 8 | 100 | 4 | 28 | 1,88 | 62,5 | -34,5 |
| 9 | 100 | 4,5 | 27 | 2,13 | 57,5 | -30,5 |
| 10 | 100 | 5 | 25 | 2,5 | 50 | -25 |

A plotagem dos indicadores (Figura 2) mostra que *convergência potencial* decresce conforme a localização da segunda unidade de serviço se afasta do centro, que *minimização da*

distância média ponderada varia segundo uma curva (minimização aumenta à medida que a localização da segunda unidade de serviço se afasta do centro até um certo ponto, quando passa

a diminuir), e finalmente a resultante decresce a partir do centro, até um certo ponto, quando passa a diminuir. O gráfico sugere a existência de três zonas distintas: uma primeira (marcada em amarelo no gráfico) onde prepondera a força centrípeta, uma segunda (marcada em vermelho) onde prepondera a força centrífuga, e uma última (azul) onde as forças voltam a convergir. As duas primeiras zonas são claramente onde a decisão de localização da segunda unidade de serviço é feita. Se se considera, preliminarmente, as forças para dentro e para fora equivalentes, então a localização mais eficaz se dá na célula 7 (8 na tabela), onde ocorre o maior valor da resultante (-34,5) (Figura 13).

A exploração continua num sistema que contém agora 2 unidades de serviço, de tipos diferentes e limiares de 5 e 8, correspondentes a serviço local e global. Tal sistema é igualmente submentido a adição incremental de células

residenciais na borda. Tabela 2 mostra os valores para os diferentes indicadores: colunas 1 e 2 contém os valores de convergência do sistema à medida que cresce até atingir o limiar de 8, note que quando o sistema atinge limiar de 5 uma nova unidade de serviço correspondente a esse limiar é introduzida na célula 8, e a partir daí o sistema apresenta dois valores de convergência, correspondendo às duas localizações de serviço.

Da mesma forma que o experimento anterior, o gráfico apresenta três zonas e comportamento dos indicadores consistente; note que o indicador de convergência potencial mostra uma irregularidade, resultado da localização de uma segunda unidade do serviço de limiar 5 na célula 7 (8 na tabela). Da mesma forma, considerando as forças para dentro e para fora de mesma hierarquia, a resultante sugere a localização da segunda unidade de serviço com limiar 8 na célula 11 (10 no gráfico).

Tabela 2: Resultados de simulação de um sistema que contém dois serviços com limiares diferentes. Em azul os pontos críticos dos dois serviços, e em vermelho o maior valor da resultante

| SISTEMA | C em 1 | C em 8 | DM | CP | DMP | MDMP Normaliz. | RESULT. |
|---------|--------|--------|------|----|------|----------------|---------|
| 1 | - | | | | | | |
| 2 | 100 | | 1 | 24 | 7,61 | 94,3 | 5,7 |
| 3 | 100 | | 1,5 | 24 | 6,69 | 82,9 | 17,1 |
| 4 | 100 | | 2 | 23 | 5,85 | 72,5 | 27,5 |
| 5 | 100 | | 2,5 | 22 | 5,15 | 63,8 | 36,2 |
| 6 | 100 | | 3 | 21 | 4,54 | 56,3 | 43,7 |
| 7 | 100 | | 3,5 | 21 | 4,08 | 50,6 | 49,4 |
| 8 | 100 | | 4 | 30 | 3,69 | 45,7 | 54,3 |
| 9 | 100 | | 4,5 | 18 | 3,31 | 41 | 59 |
| 10 | 100 | | 5 | 14 | 2,85 | 35,3 | 64,7 |
| 11 | 58 | 21 | 5,33 | 13 | 2,77 | 34,3 | 65,7 |
| 12 | 56 | 22 | 5,9 | 12 | 2,85 | 35,3 | 64,7 |
| 13 | 54 | 23 | 6,45 | 11 | 3 | 37,2 | 62,8 |
| 14 | | | 7 | 10 | 3,31 | 41 | 59 |
| 15 | | | 7,5 | 9 | 3,77 | 46,7 | 53,3 |
| 16 | | | 8,07 | 8 | 4,1 | 50,8 | 49,2 |

Finalmente o desempenho da distância média durante o processo de expansão pode ser acompanhado na Figura 14. Nota-se claramente um comportamento de constante tendência para o limiar, com retorno à condição pré-limiar após cada inserção de novo serviço, e nova evolução na direção

do limiar. Na plotagem superior vê-se a descrição da distância média assumindo a localização do novo serviço descentralizada, quando os ciclos são mais longos. Na plotagem inferior, a descrição corresponde à localização do novo serviço centralizada, o que encurta significativamente os ciclos.

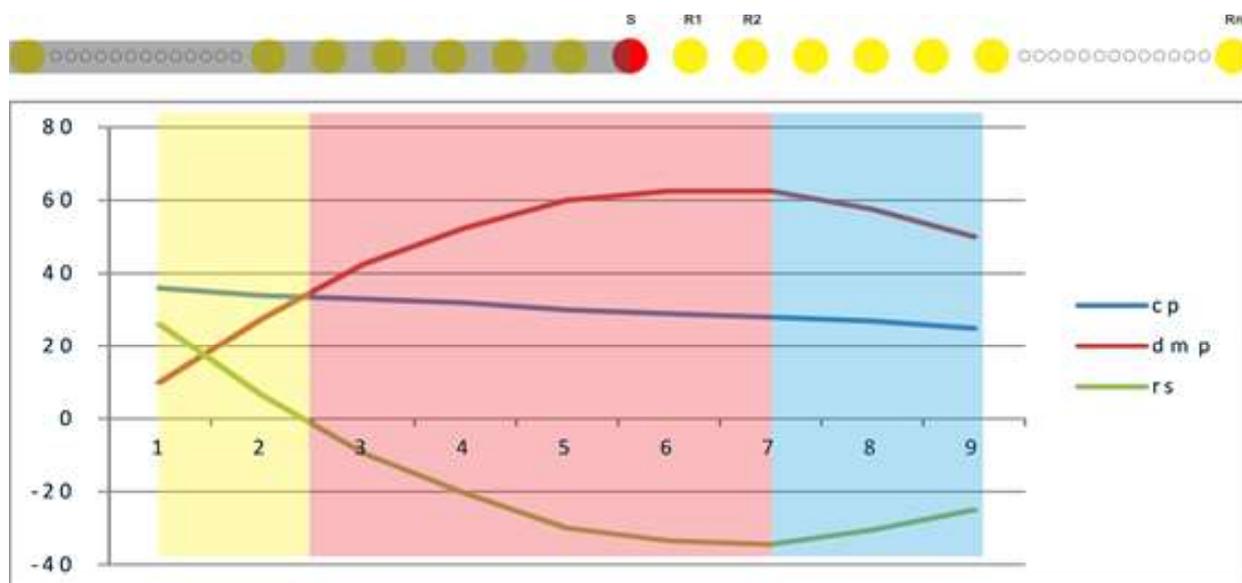


Fig. 13 - Diagrama do sistema urbano linear (genérico), acima, e plotagem dos indicadores, abaixo.

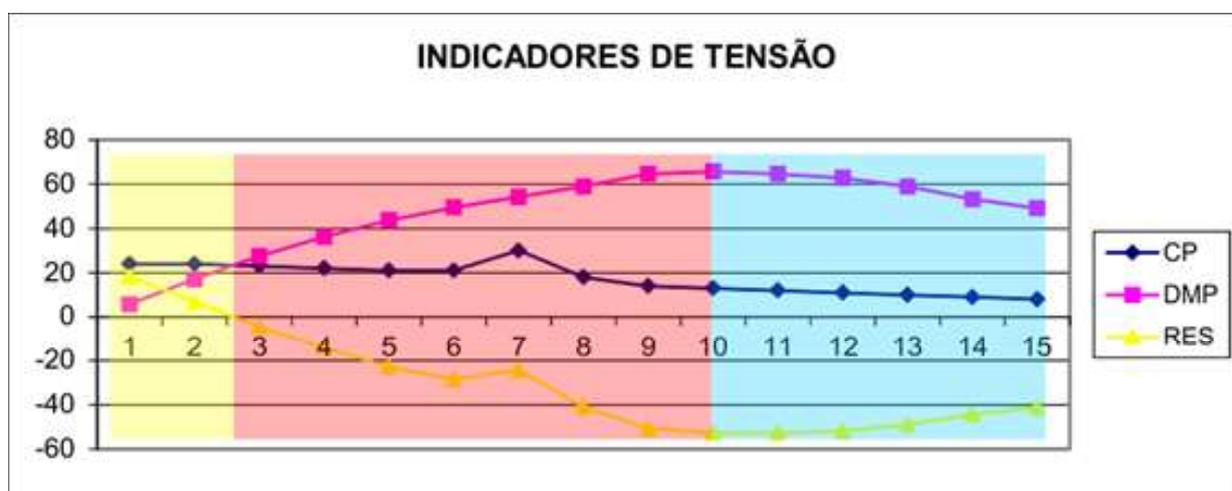


Fig. 14 - Plotagem dos indicadores para um sistema contendo dois serviços de limiares diferentes.

10. COMENTÁRIOS FINAIS

Os experimentos preliminares, realizados com um sistema espacial reduzido e simplificado, sugerem um processo de auto-organização comandado por forças centrípetas e centrífugas agindo simultaneamente e definindo diferentes zonas de equilíbrio. Considerando preliminarmente a equivalência dessas duas forças, uma como expressão do bônus da proximidade a outros serviços e outra do bônus da proximidade aos consumidores, o experimento permite localização de serviços fora do centro. Deve-se considerar o fato de o experimento operar com um único tipo de serviço, quando então a resultante do jogo de forças é considerada isolada de outras influências e determina novas localizações ótimas desde esse ponto

de vista (o gráfico da Figura 15 mostra essa definição determinística); em situações reais, serviços de outros tipos, previamente existentes, podem acarretar vantagens locais para as novas alocações, tornando o problema mais interessante.

O arcabouço analítico aqui sugerido permite exame minucioso de questões relacionadas à localização de serviços na cidade, tanto no seu trato isolado quanto no conjunto de serviços que constituem polos, e, com isso, possibilita, se aplicado a problemas realistas, contribuir para identificar o comportamento crítico da dinâmica aqui examinada. Esse comportamento envolveria a identificação de limiares para diferentes tipos de serviços, ou associação de serviços urbanos, bem como a exploração da estatística das avalanches.

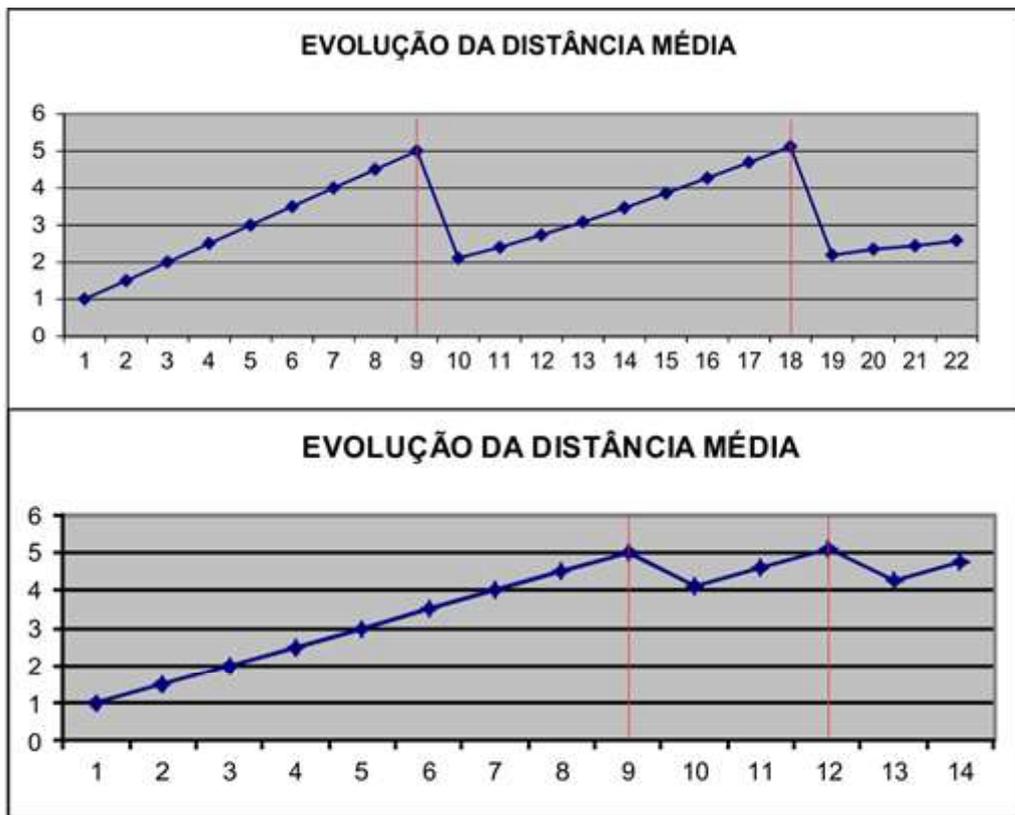


Fig. 15 - Desempenho da variável Distância Média Ponderada, sugerindo um comportamento compatível com um fenômeno de criticalidade auto-organizada.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, P. **Cities and regions as self-organizing systems**, London: G&B Science Pubs, 1997, p. 52-80.

ALONSO, W. **Location and land use**, Toward a General Theory of Land Rent, Cambridge Mass: Harvard University Press, 1964, p. 154-156.

BAK, P.; TANG, C.; WIESENFELD, K. Self-organized criticality. **Physical Review A**, Atlanta, v. 38, p. 364-374, 1988.

BARRA, T. **Integrated land-use and transport modelling**. Decision chains and hierarchies, Cambridge: University Press, 1989, p. 100-113.

BATTY, M. **Cities and Complexity**. Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals, Cambridge Mass: MIT Press, 2005, p. 1-17.

BATTY, M.; XIE, Y. Self-organized criticality and urban development. **Discrete Dynamics in Nature and Society**, v.3, p.109-124, 1998.

BATTY, M. & LONGLEY, P. **Fractal cities**, London: Academic Press, 1994, p. 7-57.

BERRY, B. **Geography of market centers and retail distribution**. Englewood Cliff: Prentice Hall, 1967, 146p.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; ROCHA, E. C.; SILVA JÚNIOR, J. A.; PARANHOS, R.; SILVA, M. B. & DUARTE, B. S. F. Cluster analysis for political scientists. **Applied Mathematics**, 5, p. 2408-2415, 2014.

FREEMAN, L. A set of measures of centrality based on betweenness. **Sociometry**, v. 40, p. 35-41, 1977.

FUJITA, M.; KRUGMAN, P. When is the economy monocentric? **Journal of Regional Science and Urban Economics**, 25, p. 505-528, 1995.

FUJITA, M.; KRUGMAN, P.; MORI, T. On the evolution of hierarchical urban systems. **European Economic Review**, 43, p. 209-251, 1999.

FUJITA, M.; KRUGMAN, P.; VENABLES, A. **The spatial economy**, Cambridge Mass: MIT Press, 2001, p. 119-132.

HANSEN, W. G. How accessibility shapes

- land-use. **Journal of the American Institute of Planners**, Chicago, v. 25, 1959, p. 73-76.
- HENDERSON, J. V. **Urban development: theory, fact and illusion**. Oxford: University Press, 1988. 256p.
- HILLIER, B. & HANSON, J. **The social logic of space**, Cambridge: University Press, 1985, p. 82-142.
- IBGE. **Pesquisa anual de comércio**. Brasília, DF: IBGE, 2009, v. 21, p. 29-42.
- IBGE. **Pesquisa anual de serviço**. Brasília, DF: IBGE, 2009, v. 11, p. 38-50.
- INGRAM, D. R. The concept of accessibility: a search for an operational form. **Regional Studies**, Seaford, v. 5, n. 2, p. 101-110, 1971.
- KRAFTA, R. Modelling intraurban configurational development. **Environment & Planning B**, 21, p. 67-82, 1994.
- KRAFTA, R. Urban convergence, morphology and attraction. In: TIMMERMANS, H. (ed). **Decision support systems in urban planning**, London: E&F Spon, 1997, p. 82-94.
- KRAFTA, R.; NETTO, V.; LIMA, L. Urban Built Form grows critical. **Cybergeo European Journal of Geography**, n. 565, 20 nov. 2011. Disponível em: <<http://cybergeo.revues.org/24787>>.
- KRUGMAN, P. **Geography and trade**. Cambridge Mass: MIT Press, 1991, 156p.
- LONGLEY, P.; BATTY, M. **Advanced Spatial Analysis**, Redland, Ca: Esri Press, 2003, p. 427-436.
- PARK, R.; BURGESS, E.; MCKENZIE, R. **The city**, Chicago: University of Chicago Press, 1925, p. 47-79.
- PORTUGALI, J. **Self-organization and the city**, Berlin: Springer, 2000, p. 49-72.
- THEWORLD BANK RESEARCH OBSERVER, v. 17, n. 1, p. 89-112, 2002.
- TIMMERMANS, H. **Progress in activity-based analysis**, New York: Elsevier, 2005, p. 19-25.
- TIMMERMANS, H. **Decision Support Systems in Urban Planning**, London: E&FN Spon, 1997, p. 12-18.
- TIROLE, J. **The theory of industrial organization**, Cambridge Mass: MIT Press, 1988, p. 277-296.